

CÁTIA MARINA LAMEGO PERDIGÃO SILVA

**LOCOMOÇÃO ESPINHAL POR REFLEXOS EM
GATOS**

Orientador: Professor Doutor Eduardo Marcelino

Coorientadora: Professora Ângela Martins

Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias

Faculdade de Medicina Veterinária

Lisboa

2021

CÁTIA MARINA LAMEGO PERDIGÃO SILVA

LOCOMOÇÃO ESPINHAL POR REFLEXOS EM GATOS

Dissertação defendida em provas públicas para a obtenção do Grau de Mestre em Medicina Veterinária no curso de Mestrado Integrado em Medicina Veterinária conferido pela Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias, no dia 29 de Julho de 2021, com o Despacho de Nomeação de Júri nº 223/2021 de 30 de junho de 2021, com a seguinte composição:

Presidente: Professora Doutora Margarida Alves

Arguente: Professor Doutor Artur Varejão

Orientador: Professor Doutor Eduardo Marcelino

Coorientadora: Professora Ângela Martins

Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias

Faculdade de Medicina Veterinária

Lisboa

2021

Dedicatória

À minha família, que nunca duvidou de mim...

Agradecimentos

À Dra. Ângela Martins por me ter aberto as portas das suas casas, pelo apoio que me deu, pelo conhecimento que me transmitiu, por ter acreditado em mim e pelas oportunidades que me ofereceu. Obrigada pela dedicação e ajuda que me deu ao longo da elaboração desta dissertação. É uma constante inspiração, como profissional e como pessoa.

A toda a equipa do HVA/CRAA pela hospitalidade, transmissão de conhecimento e disponibilidade. Obrigada pela simpatia e por me terem recebido de braços abertos.

Ao professor Eduardo Marcelino pela disponibilidade e ajuda na realização desta dissertação.

Às minhas colegas de estágio, em especial à Ana, pelos bons momentos.

Um especial agradecimento à minha família, principalmente à minha avó Isilda, sem ela isto não seria possível.

Resumo

No presente estudo prospetivo pretendeu-se avaliar a segurança e eficácia da neuroreabilitação intensiva, em gatos paraplégicos e com ausência de sensibilidade à dor profunda (grau 0 na escala de Frankel modificada), com mais de 3 meses de lesão. A amostra incluiu 9 gatos admitidos no Hospital Veterinário da Arrábida/Centro de Reabilitação Animal da Arrábida, num período de 7 anos, de 15 de setembro de 2014 até 15 de março de 2021, com lesão de mielopatia não compressiva.

Foi elaborado um protocolo de neuroreabilitação funcional intensivo, com duração de 12 semanas, baseado no treino locomotor em tapete rolante terrestre e aquático, electroestimulação, assim como exercícios de cinesioterapia, de modo a obter uma recuperação da ambulação de forma mais rápida, bem como padrão locomotor de flexão/extensão modelado. Dos 9 gatos que participaram no presente estudo, 56% (n=5) recuperaram a ambulação; destes 44% (n=4) através da locomoção espinhal por reflexos funcional e 1 através da recuperação da sensibilidade profunda.

Os resultados obtidos sugerem que a neuroreabilitação intensiva tem um papel importante na recuperação da ambulação, permitindo uma melhor qualidade de vida e bem-estar dos animais e levando à redução do número de eutanásias em animais paraplégicos.

Abstract

The purpose of this prospective study was to evaluate the safety and efficacy of intensive neuro-rehabilitation in paraplegic cats with no sensitivity to deep pain (grade 0 on the modified Frankel scale), with more than 3 months of injury. The study included 9 cats admitted to the Arrábida Veterinary Hospital/Arrábida Centre for Animal Rehabilitation for a period of 7 years, from 15 of September 2014 to 15 of March 2021, with injury of compressive myelopathy.

A 12-week intensive functional neuro-rehabilitation protocol was developed based on ground and aquatic treadmill locomotor training, electrostimulation, and kinesiotherapy exercises, in order to obtain a faster recovery of the ambulation, as well as modeled locomotor pattern of flexion/extension. Of the 9 cats that participated in the present study, 56% (n=5) recovered the ambulation; of these 44% (n=4) through spinal locomotion by functional reflexes and 1 through the recovery of deep sensitivity.

The results suggest that intensive neuro-rehabilitation plays an important role in the recovery of ambulation, leading to an improved quality of life and well-being and to the reduction of euthanasia rates in paraplegic animals.

Abreviatura, siglas e símbolos

5-HT- Serotonina

Ach- Acetilcolina

BDNF- Fator Neurotrófico Derivado do Cérebro

cAMP- Monofosfato de Adenosina Cíclico

CC- Condição corporal

CIP- Correntes Internas Persistentes

CRAA- Centro de Reabilitação Animal da Arrábida

DA- Dopaminérgicos

DHK- Ácido diidroquinico

Dir- Direita

E- Entrada

EFM- Escala de Frankel Modificada

Esq- Esquerda

Et al. - e outros, do latim *et alli*

GABA- Ácido gama-aminobutírico

GLU- Glutamato

GPC- Gerador de Padrão Central

HVA- Hospital Veterinário da Arrábida

m/s - Metro por segundo

Mielo-TC - Mielotomografia computadorizada

min- Minutos

Na + - Ião sódio

NA- Noradrenalina

NE- Norepinefrina

NT-3- Neutrofina-3

NMS- Neurónio Motor Superior

NMI- Neurónio Motor Inferior

OVH- Ovariohisterectomia

PNRI- Protocolo de Neuroreabilitação Intensivo

PKA- Proteína Kinase A

Rx- Radiologia

RB- Reflexo Babinski

RCT- Reflexo cutâneo do tronco

REC- Reflexo Extensor Cruzado

RF- Reflexo Flexor

RP- Reflexo Patelar

S- Saída

SS- Sensibilidade Superficial

SNC- Sistema Nervoso Central

SNP- Sistema Nervoso Periférico

SP- Sensibilidade Profunda

TRA- Tónus do Reto Abdominal

ULHT- Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias

< - Inferior, menor;

≤ - Inferior ou igual

> - Superior, maior

≥ - Superior ou igual

α – Alfa

γ – Gama

Índice Geral

Dedicatória	3
Agradecimentos.....	4
Resumo	5
Abstract	6
Abreviatura, siglas e símbolos	7
Índice Geral.....	9
Índice Figuras	11
Índice de Tabelas	12
Índice de Gráficos	13
Parte I- Casuística de estágio.....	14
1. Espécie animal	14
2. Área clínica	15
3. Medicina preventiva	15
4. Medicina interna.....	16
5. Clínica cirúrgica	17
6. Medicina de urgência	17
8. Exames complementares de diagnóstico	19
Parte II- Locomoção Espinhal por Reflexos em Gatos.....	20
1. Neuroanatomia.....	20
2. O Sistema Motor	23
2.1 Os Neurónios Motores.....	24
2.2 O Sistema Piramidal	26
2.3 O Sistema Extrapiramidal	26
3. O Sistema Sensorial Somático.....	27

3.1 A Nociceção	28
3.2 A Proprioceção	30
4. Atividade Reflexa Autónoma	32
5. Os Geradores de Padrão Central	34
5.1 O Papel dos Geradores de Padrão Central na Locomoção	34
5.2 As Correntes Internas Persistentes	35
5.3 Os Geradores de Padrão Central e a Locomoção Espinhal por Reflexos	36
5.4 O Papel do Sistema Sensorial na Locomoção Espinhal por Reflexos	37
5.5 O Papel dos Neuromoduladores na Locomoção Espinhal por Reflexos	38
6. O Treino Locomotor	42
6.1 As Principais Investigações	44
6.2 As Propriedades da Medula Espinhal	44
6.3 A Hidroterapia e a Electroestimulação	47
Parte III- Material e Métodos	49
7. Resultados	58
7.1 Caraterização da amostra	58
7.2 Análise estatística	61
7.3 Comparação dos resultados obtidos	65
8. Discussão	70
9. Conclusão	74
Referências Bibliográficas	75
Apêndice I- Sistema Motor	81
Apêndice II- Classificação do doente paraplégico de grau 0	82
Anexo I- Termo de consentimento- Estudo cinemático	83

Índice Figuras

Figura 1- Doente politraumatizado.....	17
Figura 2- Electroestimulação funcional a um gato.....	18
Figura 3- Eletrocardiografia.....	19
Figura 4- O feixe rubroespinhal	20
Figura 5- Substância cinzenta e os diferentes feixes da medula espinhal	202
Figura 6- Representação da associação entre o NMS e o NMI	223
Figura 7- Feixes sensoriais e motores da medula espinhal	235
Figura 8-Transmissão do estímulo nocicetivo pelos diferentes feixes	259
Figura 9- Resposta propriocetiva.	31
Figura 10- Arco reflexo	32
Figura 11- Localização dos diferentes GPC no SNC e respetivos padrões motores	34
Figura 12- Estrutura geral do controlo locomotor.....	40
Figura 13- Feixes descendentes no gato	41
Figura 14- Reorganização da medula espinhal após lesão medular	44
Figura 15- Avaliação do reflexo flexor.....	50
Figura 16: Avaliação reflexo extensor cruzado.....	52
Figura 17- Avaliação da sensibilidade à dor profunda em relação ao dígito medial no membro pélvico esquerdo.....	52
Figura 18- Avaliação da sensibilidade à dor profunda em relação ao dígito lateral no membro pélvico esquerdo.....	52
Figura 19- Esquematização do intervalo temporal entre reavaliações.....	56
Figura 20: Esquematização dos resultados do estudo.....	66

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Número de casos observados nas diversas áreas clínicas tendo em conta a espécie e respetiva FA e FR (n=2927).....	15
Tabela 2 – Número de casos observados na área de medicina preventiva em relação à espécie animal e respetiva FA e FR (n=172).....	15
Tabela 3 – Número de casos observados na área de medicina interna em relação à espécie animal e respetiva FA e FR (n=1321).....	16
Tabela 4 – Número de casos observados na área de clínica cirúrgica em relação à espécie animal e respetiva FA e FR (n=433).....	17
Tabela 5 - Número de casos observados na área da medicina física e reabilitação funcional em relação à espécie animal e respetiva FA e FR (n=409).....	18
Tabela 6 - Distribuição dos exames complementares de diagnóstico em relação à espécie animal e respetiva FA e FR (n=1873).....	19
Tabela 7 - Classificação dos reflexos espinhais periféricos e do tónus muscular do reto abdominal, à estrada no CRAA.....	51
Tabela 8- Apresentação dos animais incluídos no estudo.....	59
Tabela 9- Classificação dos reflexos espinhais periféricos e do tónus muscular do reto abdominal, após a aplicação do PNRI (alta médica).....	62
Tabela 10- Capacidade de ambulação no final do estudo.....	63
Tabela 11- Treino locomotor realizado pelos diferentes gatos.....	68

Índice de Gráficos

Gráfico 1- Distribuição dos casos observados em relação à espécie animal.....	14
Gráfico 2- Caraterização da amostra (n=9) quanto à idade.....	58
Gráfico 3- Caraterização da amostra (n=9) quanto ao sexo.....	58

Parte I- Casuística de estágio

A seguinte casuística é referente aos casos observados e seguidos pelo estagiário, durante o estágio curricular, realizado no Hospital Veterinário da Arrábida (HVA) e no Centro de Reabilitação Animal da Arrábida (CRAA), entre 14 de setembro de 2020 e 14 de março de 2021.

Durante a período de estágio no HVA e no CRAA, foi possível acompanhar e assistir a consultas de medicina profilática e consultas de patologia médica, principalmente na área da medicina física e reabilitação funcional, gastroenterologia, neurologia, nefrologia e toxicologia. Foi também possível a participação ativa em protocolos de medicina de urgência, medicina interna e reabilitação funcional, assim como providenciar auxílio no internamento hospitalar e na cirurgia, na realização de exames complementares de diagnóstico (ecografia e radiologia) e apoio ao laboratório clínico, em regime diurno e noturno e sempre sob a supervisão de um médico veterinário.

Os dados estatísticos apresentados estão sob a forma de frequência absoluta (FA), que representa o número total de casos observados, e a frequência relativa (FR) que qualifica o número de casos observados na totalidade dos casos, ou seja, $FR = FA \text{ de cada área} / FA \text{ total} \times 100$. A FR é representada sob a forma de percentagem (%).

1. Espécie animal

Relativamente à espécie animal, durante o período de estágio foram observadas principalmente duas espécies, o cão e o gato, mas também animais exóticos. Como se observa no Gráfico 1, concluiu-se que o cão obteve uma maior representação, de 71%, seguindo-se o gato com 28% e por fim os animais exóticos com 1%.

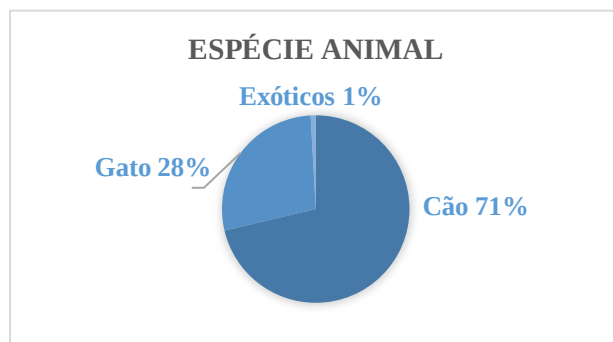


Gráfico 1 – Distribuição dos casos observados em relação à espécie animal.

2. Área clínica

Durante o período de estágio no HVA e no CRAA foi possível o contato com diversas áreas clínicas, sendo a área com maior relevância a área de medicina interna com 45.7% dos casos, seguida pela área da medicina de urgência com 17.5% (Tabela 1).

Tabela 1 – Número de casos observados nas diversas áreas clínicas tendo em conta a espécie e respetiva FA e FR (n=2927).

Área clínica	Cão	Gato	FA	FR
Medicina preventiva	110	60	170	5.8%
Medicina interna	1036	301	1337	45.7%
Clínica cirúrgica	272	179	451	15.4%
Medicina de urgências	283	229	512	17.5%
Medicina física e Reabilitação funcional	408	49	457	15.6%
Total	2109	818	2927	100%

3. Medicina preventiva

As consultas de medicina preventiva são fundamentais para a saúde animal, na prevenção de doenças, mas também para a saúde pública. Nesta área destacam-se procedimentos de: vacinação, desparasitação, identificação eletrónica, o exame clínico geral, assim como a educação dos proprietários com a informação essencial para os cuidados básicos da saúde animal. A desparasitação foi o procedimento mais observado, como se pode verificar na tabela 2.

Tabela 2 – Número de casos observados na área de medicina preventiva em relação à espécie animal e respetiva FA e FR (n=172).

Medicina preventiva	Cão	Gato	FA	FR
Desparasitação	49	31	80	46.5%
Vacinação	42	29	71	41.3%
Identificação eletrónica	18	3	21	12.2%
FA Total	109	63	172	100%

4. Medicina interna

As áreas de medicina interna com mais casos observados durante o estágio estão representadas na tabela 3, sendo a gastroenterologia, oncologia, neurologia e ortopedia/sistema músculo-esquelético as áreas com maior representatividade.

Em todas as áreas foi possibilitado o acompanhamento dos casos clínicos, onde foi permitido a administração de medicação, realização de procedimentos terapêuticos e a monitorização dos mesmos.

Tendo em conta o regime de internamento do CRAA, associado com a incapacidade motora funcional de muitos dos doentes, a área da dermatologia apresenta uma representação elevada.

Tabela 3 – Número de casos observados na área de medicina interna em relação à espécie animal e respetiva FA e FR (n=1321).

Medicina Interna	Cão	Gato	FA	FR
Cardiologia	30	19	49	3.7%
Dermatologia	82	14	96	7.3%
Gastroenterologia	63	29	92	6.7%
Neurologia	251	27	278	21%
Urologia	11	26	37	2.8%
Toxicologia	20	6	26	1.9%
Endocrinologia	41	12	53	4%
Ginecologia, obstetrícia, andrologia	13	9	22	1.7%
Pneumologia	36	25	61	4.6%
Oftalmologia	26	5	31	2.3%
Oncologia	160	54	214	16.2%
Infecologia e parasitologia	71	22	93	7%
Otorrinolaringologia	33	12	45	3.4%
Ortopedia e músculo-esquelético	176	25	201	15.2%
Toxicologia	17	6	23	1.7%
Total	1030	291	1321	100%

5. Clínica cirúrgica

A área da clínica cirúrgica incluiu a cirurgia ortopédica e a cirurgia de tecidos moles, sendo as cirurgias de tecidos moles maioritariamente ovariohisterectomias (OVH) e orquiectomias eletivas, enterotomias, cistotomias, esplenectomias, nodulectomias e mastectomias (Tabela 4).

Foi, também, permitida a participação na preparação da sala de cirurgia, avaliação pré-cirúrgica/classificação do risco anestésico do doente, realização do protocolo anestésico, planeamento cirúrgico, monitorização anestésica, assim como, participação no procedimento cirúrgico como ajudante de cirurgião e circulante, e a monitorização do doente durante a fase de recobro.

Também foi observado, com alguma frequência, laparotomias exploratórias, toracocenteses/abdominocenteses e algaliações, como procedimentos de urgência ou como meio de diagnóstico.

Tabela 4 – Número de casos observados na área de clínica cirúrgica em relação à espécie animal e respetiva FA e FR (n=433).

Clínica cirúrgica	Cão	Gato	FA	FR
Cirurgia de tecidos moles	218	174	392	90.5%
Cirurgia ortopédica	33	8	41	9.5%
Total	251	182	433	100%

6. Medicina de urgência

A medicina de urgência englobou diversas áreas, sendo as urgências respiratórias as mais frequentes. Nas outras áreas destacam-se: doentes politraumatizados (figura 1), urgências neurológicas (intracranianas ou medulares), uronefrologia, cardiologia e intoxicações.

Em Janeiro/Fevereiro, verificou-se também, um elevado número de casos de angioedemas provocados pela lagarta do pinheiro.



Figura 1: Doente politraumatizado. (Imagem gentilmente cedida pelo HVA/CRAA).

7. Medicina física e reabilitação funcional

As alterações ortopédicas mais observadas foram: osteoartrite, displasia da anca, e contraturas musculares. As alterações neurológicas com maior prevalência foram: hérnias discais (*Hansen* tipo I e II), seguidas por: tromboembolismo fibrocartilágíneo, síndrome vestibular e discoespondilite.

Nesta área, foi possível o acompanhamento de diversos casos clínicos (tabela 5), o que permitiu a familiarização com os diversos métodos de reabilitação, tais como a realização de treino locomotor com recurso ao tapete rolante terrestre e aquático, exercícios de cinesioterapia e modalidades terapêuticas como: o laser, a electroestimulação (figura 2), a crioterapia e por fim os ultrassons e as ondas-choque.



Figura 2: Electroestimulação funcional a um gato. (Imagem gentilmente cedida pelo HVA/CRAA).

Tabela 5 - Número de casos observados na área da medicina física e reabilitação funcional em relação à espécie animal e respetiva FA e FR (n=409).

Medicina física e Reabilitação funcional	Cão	Gato	FA	FR
Neurologia	242	25	267	65.3%
Ortopedia/músculo-esquelético	156	16	142	34.7%
Total	398	31	409	100%

8. Exames complementares de diagnóstico

Também foi possibilitado ao estagiário a realização de análises sanguíneas, nomeadamente hemogramas, bioquímicas, ionogramas, análises endócrinas, tempos de coagulação, assim como eletrocardiogramas, exames radiológicos, POCUS, entre outros (Tabela 6).

O eletrocardiograma (figura 3) foi o exame complementar de diagnóstico mais realizado uma vez que este faz parte do protocolo de monitorização, realizado 2 a 3 vezes/dia, em animais cardíacos e geriátricos, e em cuidados intensivos, tanto no HVA como no CRAA.



Figura 3: Eletrocardiografia. (Imagem gentilmente cedida pelo HVA/CRAA).

Tabela 6 - Distribuição dos exames complementares de diagnóstico em relação à espécie animal e respetiva FA e FR (n=1873).

Exames complementares	Cão	Gato	FA	FR
Hemograma	293	110	403	21.5%
Bioquímicas	266	92	358	19.1%
Ionograma	23	9	32	1.7%
Análises endócrinas	71	16	87	4.6%
Tempos de Coagulação (PT e APTT)	21	0	21	1.1%
Ecografia	66	21	87	4.6%
Ecocardiografia	46	51	97	5.2%
Radiografia	92	35	127	6.8%
Eletrocardiografia	552	89	641	34.2%
Urianálise	5	3	8	0.4%
PAAF	10	2	12	0.6%
Total	1445	428	1873	100%

Parte II- Locomoção Espinhal por Reflexos em Gatos

1. Neuroanatomia

As regiões funcionais do encéfalo são divididas em 5 lobos: lobo frontal (área motora, origem dos feixes corticoespinhal e corticonuclear, que inclui os neurónios responsáveis pelas funções motoras voluntárias), lobo parietal (área somatossensorial ou somestésica, que recebe informações propriocetivas e nocicetivas conscientes aferentes), lobo temporal (recebe estímulos aferentes de ambos os sistemas auditivo e vestibular), lobo occipital (terminação das fibras do feixe ótico), e o lobo piriforme (terminação dos axônios do feixe olfativo) (Dewey & da Costa, 2016; Lorenz *et al.*, 2011). Os principais sinais clínicos da disfunção cerebral são a combinação de défices propriocetivos conscientes (geralmente contralateral à lesão cerebral) associados à marcha normal ou quase normal (Dewey & da Costa, 2016).

O tronco cerebral forma uma conexão entre a medula espinhal e os hemisférios cerebrais (Thomson & Hahn, 2012). Nos animais de companhia, a marcha é gerada no tronco cerebral, embora a localização exata do centro para a geração da marcha em cães e gatos seja desconhecida (Dewey & da Costa, 2016).

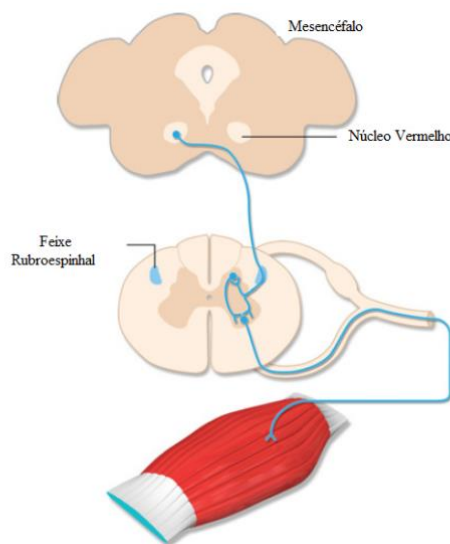


Figura 4: O feixe rubroespinhal, que possui grande importância na geração da marcha dos animais de companhia. (Adaptado de: Dewey & da Costa, 2016).

Abaixo do *tectum* do mesencéfalo encontra-se o tegumento, e a origem do feixe tectotegmentoespinhal. Este é o responsável pelas inervações simpáticas dos neurónios motores superiores (NMS). O núcleo vermelho (centros de controlo motor da marcha) (Figura 4) está, também, aqui localizado (Lorenz *et al.*, 2011). Cada núcleo vermelho dá origem a axónios que decussam na linha média e originam o feixe rubroespinhal (importante na geração da marcha em cães e gatos). Lesões rostrais ao mesencéfalo causam défices de reação postural e paresia contralaterais, enquanto lesões do mesencéfalo caudal e da ponte rostral produzem défices de reação postural e da marcha ipsilaterais (Dewey & da Costa, 2016).

A medula espinhal estende-se desde a medula oblonga (*medulla oblongata*) até à cauda equina. Esta é formada pela substância branca (periférica) e a substância cinzenta (localizada no centro), e pode ser dividida de acordo com a sua função. A substância branca está organizada em feixes nervosos: vias motoras específicas (eferentes) e sensoriais (aferentes) e é dividida em: funículo dorsal, lateral e ventral. A substância cinzenta é formada por interneurónios e neurónios motores que inervam o músculo e onde se localizam os centros de atividade reflexa. Existem dez zonas distintas na substância cinzenta e mais de uma dúzia de feixes específicos na substância branca que têm importância clínica (Dewey & da Costa, 2016; Lorenz *et al.*, 2011; Jaggy & Platt, 2010; Thomson & Hahn, 2012).

As principais funções da medula espinhal são as seguintes:

1. Receber e distribuir informações ao Sistema Nervoso Periférico (SNP);
2. Assimilação das funções sensoriais e motoras para que ocorra atividade reflexa (de um membro e/ou entre membros);
3. Retransmissão de informações aferentes/sensoriais para os centros do encéfalo e de informações eferentes/motoras dos centros motores (núcleos NMS e córtex motor) para o Neurónio Motor Inferior (NMI) (Thomson & Hahn, 2012);

Os segmentos craniais à intumescência inervam os músculos craniais e proximais do membro e os segmentos caudais inervam os músculos caudais e distais. Isto é clinicamente importante, pois uma lesão cranial na intumescência cervical (C6-C7) irá resultar em passos curtos devido à perda de inervação dos músculos do ombro. Uma lesão mais caudal (C8-T2) irá afetar os nervos radial, e ulnar, que leva a impossibilidade da extensão do cotovelo e suporte de

peso do membro, resultando numa diminuição do movimento do carpo e dos dígitos (Thomson & Hahn, 2012).

As lesões medulares podem ser compressivas e não compressivas (Jaggy & Platt, 2010).

Cada funículo de substância branca possui um feixe propioespinhal, que faz a conexão entre os segmentos da medula espinhal cranial e caudal. O funículo dorsal inclui os feixes sensoriais ascendentes, o funículo lateral inclui os feixes sensoriais ascendentes e feixes motores descendentes, que inervam os músculos flexores, e o funículo ventral possui os feixes motores descendentes, que inervam os músculos extensores (Figura 5). No entanto existem algumas exceções a este padrão (Thomson & Hahn, 2012). Os feixes descendentes (feixe corticoespinhal) estão localizados principalmente no funículo dorsolateral da medula espinhal (feixe corticoespinhal lateral) (Dewey & da Costa, 2016).

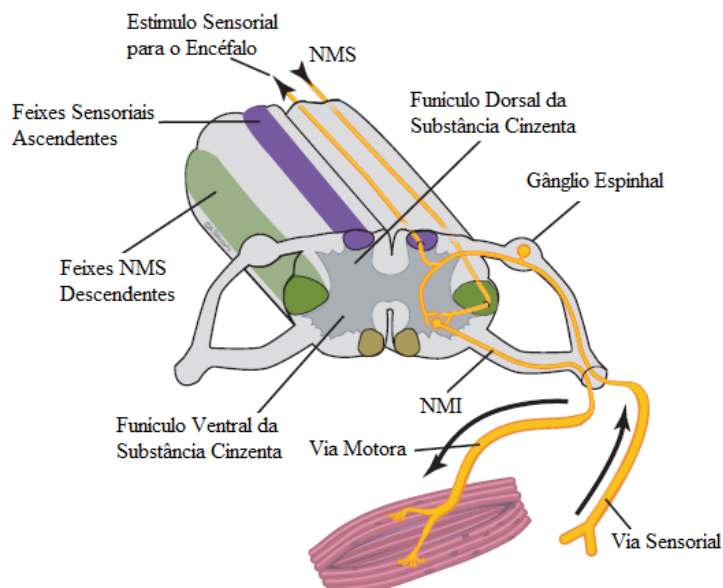


Figura 5: Substância cinzenta e os diferentes feixes da medula espinhal. (Adaptado de: Platt & Olby, 2013).

A propriocepção consciente (sentido de posição), sensação tátil e nocicepção (percepção de dor profunda) estão representados no hemisfério cerebral contralateral e são transmitidas ao encéfalo através da coluna dorsal/lemnisco medial (fascículo cuneiforme, no membro torácico e feixe espinomedular, no membro pélvico) (Dewey & da Costa, 2016).

2. O Sistema Motor

O sistema motor é constituído pelos NMS e NMI (Figura 6). Lesões neste sistema provocam sinais clínicos como paresia ou paralisia, dependendo da gravidade das lesões (Lorenz *et al.*, 2011).

A função do sistema motor espinhal, no controlo do movimento é iniciar e organizar o movimento, através de (Schomburg, 1990):

1. Transmissão e organização de informações descendentes para a realização de movimentos e a sua adaptação.
2. Transformação de informações sensoriais aferentes em padrões motores. Os “reflexos espinhais” não são respostas estereotipadas a um determinado estímulo sensorial.
3. Geração endógena de padrões de movimentos mais complexos (locomoção espinhal por reflexos).

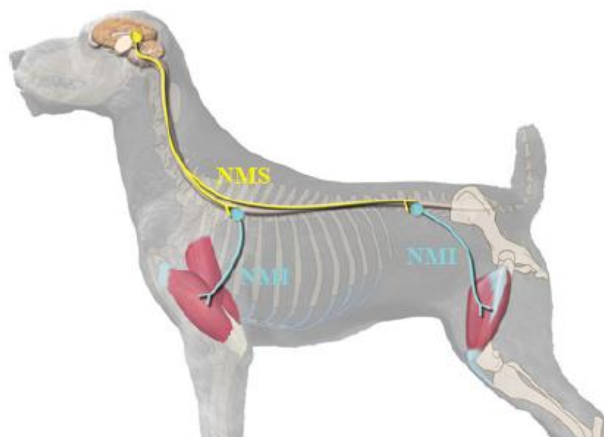


Figura 6: Representação da associação entre o NMS e o NMI. (Adaptado de: Dewey, 2016).

O cerebelo não inicia o movimento, pois nos mamíferos não há uma ligação direta entre o cerebelo e os NMI. Este coordena a atividade motora, regula a amplitude do movimento e o tônus muscular (Dewey & da Costa, 2016; Lorenz *et al.*, 2011; Thomson & Hahn, 2012). Deste modo, é lógico que o cerebelo recebe estímulos proprioceptivos subconscientes para conhecimento da posição do corpo em relação ao espaço, principalmente pelos órgãos tendinosos de Golgi, fusos musculares e células ciliadas do aparelho vestibular, modulando a atividade

motora dos núcleos NMS e do córtex motor, influenciando a atividade do NMI. O cerebelo compara a posição do corpo com o estímulo motor do movimento desejado no início, durante e no final do movimento, envolvendo músculos agonistas e antagonistas (DeLahunta & Glass, 2009; Thomson & Hahn, 2012).

Lesões do cerebelo podem causar ataxia (perda propriocetiva inconsciente) sem paresia, tremores de intenção (tremores iniciados por movimentos voluntários) mais perceptíveis na região da cabeça, disfunção vestibular (por existir conexões diretas entre o cerebelo e o sistema vestibular), défices na reação de ameaça ipsilaterais, com visão normal e anisocoria (Dewey & da Costa, 2016).

2.1 Os Neurónios Motores

Os NMI têm o seu corpo celular no Sistema Nervoso Central (SNC) (neurónios motores nos funículos ventrais da medula espinhal e núcleos motores do tronco cerebral) e os seus axónios projetam-se para o SNP, através das raízes espinhais ventrais, dos nervos espinhais ou dos nervos cranianos, que inervam os músculos esqueléticos na junção neuromuscular. Lesões completas resultam numa perda de todos os movimentos (voluntários, automáticos, posturais e reflexos). O NMI é a última via comum através da qual todos os impulsos neurais são transmitidos ao músculo (Ropper *et al.*, 2019; Thomson & Hahn, 2012).

Existem dois tipos de neurónios que inervam o músculo estriado: neurónios α e γ . Estes podem ser estimulados ou inibidos a nível segmentar, intersegmentar ou suprasegmentar, e vão produzir a contração muscular. Como a estimulação do NMI resulta na contração do músculo, uma lesão neste sistema vai levar a paresia/paralisia flácida, com reflexos diminuídos ou ausentes e atrofia muscular neurogénica (Jaggy & Platt, 2010).

Anatomicamente, o NMI sistema é composto pelo funículo ventral (neurónios α -motores), a raiz ventral, os nervos espinhais, os nervos periféricos, a placa terminal neuromuscular e os músculos (Jaggy & Platt, 2010).

Por sua vez, os NMS estão contidos no SNC, no córtex frontal, perto do sulco central (faixa motora) e no núcleo motor do tronco cerebral. Estes descem pela medula espinhal fazendo sinapses com os NMI por sinapses diretas, ou indiretamente, via interneurónios, através do feixe

piramidal. Os feixes NMS, inibidores dos músculos extensores e facilitadores dos músculos flexores dos membros, estão localizados nos funículos laterais da medula espinhal (feixes corticoespinhal, rubroespinhal e reticuloespinhal medular) (Figura 7). Os feixes que facilitam os músculos extensores dos membros e inibem os flexores estão localizados no funículo ventral (feixes reticuloespinhal pontino e vestibuloespinhal). Os feixes sensoriais ascendentes para propriocepção (feixes espinocerebelar, espinomedular e *fasciculus cuneatus, gracilis*) e nociceção (feixes espinotalâmico e espinocervicotalâmico) estão localizados principalmente nos funículos dorsais e laterais. Os NMS têm a função de orientar a atividade do NMI. Quando estimulados, os NMI provocam a contração muscular (Ropper *et al.*, 2019; Dewey, 2016; Thomson & Hahn, 2012).

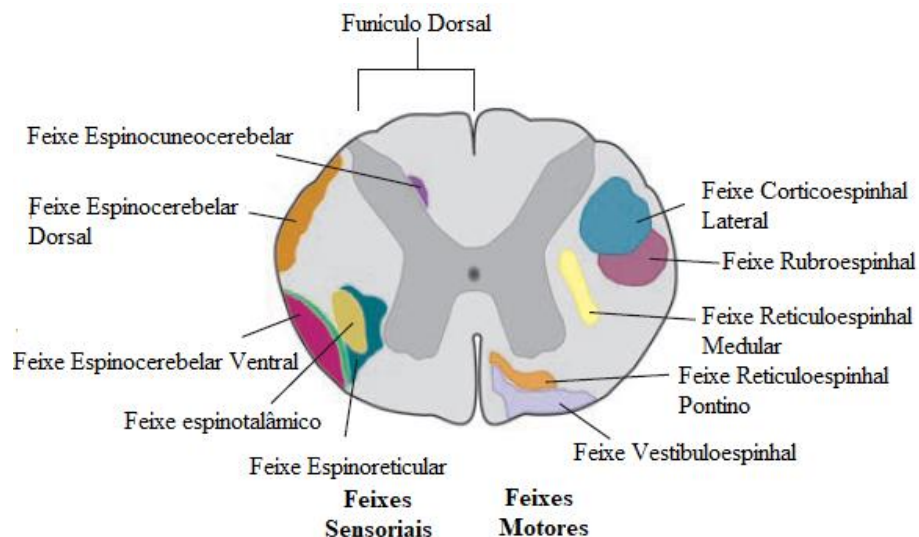


Figura 7: Feixes sensoriais e motores da medula espinhal. (Adaptado de: Platt & Olby, 2013).

O efeito do NMS é uma inibição do NMI. Uma lesão de NMS leva à perda desta inibição, o que leva a um exagero nos reflexos (ex: hiperreflexia), se o arco reflexo segmentar permanecer intacto, e a um aumento do tônus muscular (ex: espasticidade). O grau de paresia depende da extensão da lesão que afeta o NMS (Jaggy & Platt, 2010).

Em neurologia veterinária o NMS é mais extenso, pois inclui os neurónios no córtex, mas também nos núcleos basais, no tronco encefálico e no cerebelo (Jaggy & Platt, 2010).

Os seus axônios estão organizados em feixes específicos e estão divididos em: sistema piramidal e extrapiramidal (Lorenz *et al.*, 2011).

2.2 O Sistema Piramidal

O sistema piramidal permite o movimento delicado, mas não é necessário para o início da marcha nos animais (Lorenz *et al.*, 2011).

Os feixes corticoespinhais fazem sinapse, via interneurónios, com os neurónios α -motores. Uma lesão neste feixe causa uma paralisia espástica. O feixe corticoespinhal apresenta uma maior influência na musculatura distal dos membros (Jaggy & Platt, 2010).

O feixe corticoespinhal/corticonuclear promove movimentos voluntários hábeis e, naturalmente, o grau de destreza de uma espécie está relacionada com o desenvolvimento do seu sistema piramidal. As fibras corticoespinhais correspondem a 20-30% da substância branca total da medula espinhal em primatas, mas apenas 10% em carnívoros. Nos gatos, este feixe estende-se ao longo de toda a medula espinhal (Thomson & Hahn, 2012).

As fibras provenientes do córtex motor que fazem sinapses com o NMI (feixes corticonuclear e corticoespinhal), com referido anteriormente, são usadas para movimentos hábeis e aprendidos, no entanto as fibras dos outros sistemas de NMS são mais importantes na postura, locomoção e movimentos semiautomáticos, como a respiração. Lesões no córtex motor ou nas pirâmides provocam défices na reação postural nos membros contralaterais, mas causam poucos défices na marcha (Lorenz *et al.*, 2011; Thomson & Hahn, 2012).

2.3 O Sistema Extrapiramidal

O sistema extrapiramidal permite iniciar o movimento voluntário e a marcha, através de estímulos dos músculos posturais para suporte de peso contra a gravidade (facilitando os reflexos de alongamento), e recrutamento dos circuitos reflexos espinhais. Os seus neurónios estão localizados em núcleos em todas as divisões do encéfalo. Os gânglios basais, núcleos subtalâmicos e a *substantia nigra* (no mesencéfalo) integram a grande maioria deste sistema. Os núcleos têm conexão com o córtex através de ciclos polissinápticos. Estes circuitos regulatórios têm uma influência direta sobre os núcleos do mesencéfalo e os núcleos reticulares na ponte e na

medula espinhal. Os feixes motores com maior relevância clínica são: o feixe tectoespinhal, reticuloespinhal, rubroespinhal e vestibuloespinhal (Jaggy & Platt, 2010; Lorenz *et al.*, 2011; Thomson & Hahn, 2012).

Nos animais domésticos, o sistema extrapiramidal é muito mais importante para a função motora do que o sistema piramidal e têm uma maior influência na região proximal musculatura dos membros (Jaggy & Platt, 2010; Thomson & Hahn, 2012).

O feixe rubroespinhal, proveniente do núcleo vermelho do mesencéfalo, projeta-se na medula espinhal no funículo lateral, adjacente ao feixe corticoespinhal e é considerado o feixe principal que controla o movimento voluntário. Este feixe é o equivalente ao feixe corticoespinhal nos humanos, muito mais desenvolvido em comparação com os animais. Este feixe estimula os músculos flexores para a realização de movimentos semi-especializados em gatos (não tanto em cães) e humanos, e controla a postura corporal e a locomoção (protração do membro) (Thomson & Hahn, 2012).

Os feixes vestibuloespinhais e reticuloespinhais estão localizados no funículo ventral da medula espinhal e são responsáveis pela postura, ou seja, têm efeito positivo maior sobre os músculos antigravidade (extensores) do que sobre os músculos da gravidade (flexores) (Jaggy & Platt, 2010).

Em suma, o sistema extrapiramidal é responsável por manter e mudar a postura, atividades rítmicas como a locomoção e atividades semiautomáticas como a alimentação. O feixe rubroespinhal também apresenta um papel nos movimentos semiqualeificados do membro distal. O sistema piramidal é responsável por movimentos mais complexos, aprendidos e voluntários. Movimentos esses, que são sobrepostos numa postura adequada e que é coordenada pelo cerebelo e ativada pelo sistema extrapiramidal (Thomson & Hahn, 2012).

3. O Sistema Sensorial Somático

Os sistemas motor e sensorial estão intimamente integrados. Sem resposta informativa sensorial, o controlo motor é ineficaz (Ropper *et al.*, 2019).

Os recetores sensoriais podem ser classificados com base em critérios morfológicos ou na sua especificidade sensorial. Eles são classificados como termorreceptores, mecanorreceptores,

quimiorrecetores ou fotorrecetores (DeLahunta & Glass, 2009; Thomson & Hahn, 2012). Os nociceptores (recetores de temperatura, pressão, toque e estímulos nocivos) estão localizados na superfície corporal, enquanto os proprioceptores estão localizados nos fusos neuromusculares e órgãos tendinosos de Golgi e no aparelho vestibular do ouvido interno (Lorenz *et al.*, 2011, Thomson & Hahn, 2012).

As vias sensoriais de maior relevância clínica são responsáveis pela propriocepção (sentido de posição) e informação aferente somática geral (resposta a estímulos nocivos) (Lorenz *et al.*, 2011).

Ao entrar na medula espinhal, através das raízes dorsais, os axónios podem:

1. Fazer sinapse diretamente nos neurónios motor alfa, iniciando os reflexos extensores (arco reflexo monossináptico);
2. Fazer sinapse nos interneurónios para influenciar, indiretamente, os neurónios motores alfa;
3. Fazer sinapse nos interneurónios e enviar fibras aferentes através da medula espinhal para o tronco cerebral, cerebelo e encéfalo (Lorenz *et al.*, 2011).

Os nervos espinhais, fazem conexão com os interneurónios no corno dorsal, que por sua vez conectam-se com o NMI no corno ventral (Thomson & Hahn, 2012).

3.1 A Nociceção

A nociceção é definida como a modalidade sensorial que é desencadeada por um estímulo nocivo, que pode ser químico, térmico ou mecânico e provoca uma variedade de respostas somáticas autónomas ou reflexos (Figura 8), podendo resultar na experiência de dor (Thomson & Hahn, 2012).

Cerca de 50% dos axónios aferentes nos nervos cutâneos estão associados à nociceção. Nos animais domésticos existem dois tipos de fibras presentes na medula espinhal que transmitem informações nocicetivas, fibras superficiais ou A delta e profundas ou C:

1. As fibras nocicetivas superficiais ou A delta, provocam respostas rápidas por parte do encéfalo, pelo facto de serem mielinizadas, transmitem rapidamente a informação. estímulos transmitidos são facilmente localizáveis a uma certa área do corpo. Estas

fibras têm como função a percepção de estímulos nocivos discretos na pele e estão localizadas na porção ventro-lateral (primatas) ou na porção dorso-lateral (gatos) da medula espinhal, com comunicação com o córtex cerebral contralateral para reconhecimento consciente da dor, no tálamo. Um exemplo clínico seria a leve compressão da pele usando pinças hemostáticas.

2. As fibras nociceptivas profundas ou C transmitem a dor aguda, mais lentamente porque não são mielinizadas. Têm como função a percepção de dor intensa nos ossos, articulações ou vísceras e têm muitas conexões intersegmentais e suprasegmentais, estando organizadas de forma bilateral e difusa nas vias ascendentes, que se projetam para a formação reticular, para o tálamo e para o córtex cerebral. As fibras C são estimuladas pela dor de esmagamento que pode ser produzida pela compressão forte dos dígitos usando pinças hemostáticas (Thomson & Hahn, 2012).

Lesões graves e bilaterais da medula espinhal podem bloquear a percepção consciente de estímulos nocivos, distais à lesão. Deste modo, a perda de nociceção é um sinal de mau prognóstico (Jaggy & Platt, 2010; Lorenz *et al.*, 2011; Thomson & Hahn, 2012).

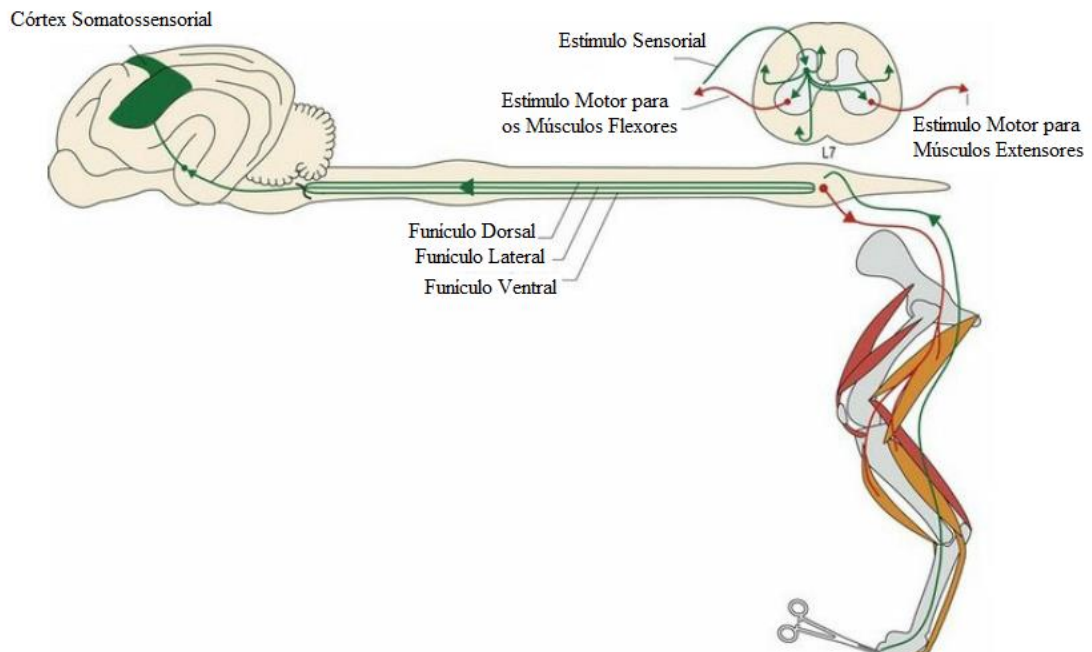


Figura 8: O estímulo nociceptivo provoca reflexos locais e é transmitido cranialmente através de diferentes feixes, nos funículos dorsal, lateral e ventral. Os músculos extensores estão a vermelho e os músculos flexores estão a laranja. (Adaptado de: Thomson & Hahn, 2012).

É importante referir que ao testar a nociceção, não testamos a dor, apenas testamos o que interpretamos como uma resposta dolorosa. A dor não é uma modalidade sensorial. Não damos ao doente um estímulo de dor, pois a dor é a resposta subjetiva cerebral do doente à estimulação de uma variedade de recetores denominados nociceptores (DeLahunta & Glass, 2009).

3.2 A Proprioção

A proprioção descreve a posição dos músculos, articulações, e tendões no espaço e é sensível ao movimento, detetando mudanças na posição do tronco, membros e cabeça. Os neurónios de proprioção geral estão associados a todos os nervos espinhais e ao nervo trigémeo (nervo craniano V) (DeLahunta & Glass, 2009; Lorenz *et al.*, 2011).

Estão descritas duas vias básicas para a proprioção, localizadas nas regiões dorsal e dorso-laterais da medula espinhal. A via da atividade reflexa segmentar e transmissão de informações propriocetivas ao cerebelo (proprioção inconsciente) e a via propriocetiva consciente, que envolve a transmissão de informações propriocetivas ao córtex cerebral somatossensorial (DeLahunta & Glass, 2009; Lorenz *et al.*, 2011).

Os propriocetores estão localizados ao longo do corpo e da cabeça, no aparelho vestibular do ouvido interno, nos fusos neuromusculares (recetores de estiramento), e órgãos tendinosos de Golgi. A informação é transmitida ao cerebelo através do feixe espinocerebelar. O cerebelo, por sua vez, regula o tónus muscular, a postura, a locomoção e o equilíbrio. Quando há uma lesão neste feixe os sinais clínicos podem ser semelhantes à disfunção cerebelar (oscilação troncular e hipermetria). Os sinais clínicos são ipsilaterais às lesões (Lorenz *et al.*, 2011; Thomson & Hahn, 2012). O sinal clínico de disfunção da proprioção é a ataxia (incoordenação) (Lorenz *et al.*, 2011).

Lesões no córtex somatossensorial têm pouca influência na marcha com mínima ataxia, no entanto, o animal pode tropeçar e apoiar o dorso do membro ("*knuckling*"). Estes sinais clínicos são contralaterais ao lado da lesão devido à decussação do feixe sensorial na medula oblonga (Thomson & Hahn, 2012).

Se a lesão estiver localizada no cerebelo, os animais podem apresentar défices propriocetivos subconscientes graves em que não há uma boa posição de suporte de peso. Em

estação, o animal pode ter uma base larga ou estreita, e durante a locomoção, os membros podem estar em abdução, adução ou cruzados. Estes sinais clínicos indicam falhas na receção e processamento do estímulo proveniente, principalmente, dos fusos musculares dos músculos extrínsecos do membro proximal, que transmitem informações sobre o ângulo que o membro faz com o corpo (Thomson & Hahn, 2012).

Por fim, se a lesão for na medula espinhal, pode haver comprometimento das vias propriocetivas conscientes e subconscientes e o animal apresenta-se atáxico, com défices na resposta de reposição do membro e com suporte do peso sobre o dorso do membro (Thomson & Hahn, 2012).

Juntamente com a função motora, para avaliar a proprioceção consciente, realizam-se testes que estimulam os recetores táteis do membro. Assim, a resposta da posição do membro ("*knuckling*") (Figura 9) e o *hopping* são testes úteis. O *hopping* estimula os recetores do fuso muscular de todo o membro, enquanto o teste de resposta da posição do membro estimula os músculos extensores/flexores distais do membro. Para testar a proprioceção subconsciente, testes que alteram a posição relativa dos membros sob o centro de gravidade são úteis e incluem o *hopping* e o *reflex stepping* (Thomson & Hahn, 2012).



Figura 9: Resposta propriocetiva. Quando a superfície dorsal do membro é colocada no chão, o animal deve repor o membro de volta à posição fisiológica imediatamente. (Adaptado de: Lorenz *et al.*, 2011).

4. Atividade Reflexa Autônoma

O reflexo é definido como uma resposta estereotipada produzida por um estímulo específico. O arco reflexo envolve os recetores e nervos do SNP (sensorial e motor) e uma região do SNC, onde o estímulo sensorial se transforma num movimento (Thomson & Hahn, 2012).

Sherrington (1910), considerou diferentes tipos de ação reflexa (flexão, flexão nocicetiva, extensão cruzada), que poderiam auxiliar a locomoção, quando provocados por diferentes tipos de estimulação (estimulação cutânea por ativação do períneo ou da cauda).

A atividade reflexa é usada para uma grande quantidade de atividade motora como por exemplo: suporte postural e locomoção (Thomson & Hahn, 2012).

Existem 2 tipos de arco reflexo (Figura 10):

1. Reflexo monossináptico, em que o estímulo sensorial no corno dorsal faz sinapse diretamente com os NMI no corno ventral do mesmo segmento da medula espinhal e gera movimento. Tem como exemplo, o reflexo patelar.
2. Reflexo polissináptico, que envolve interneurónios entre o nervo aferente e o nervo eferente. Os interneurónios permitem uma maior divergência e o estímulo é distribuído de uma forma mais ampla pelos neurónios eferentes. Os interneurónios conferem versatilidade ao arco reflexo, conectando os neurónios aferentes e eferentes apropriados. Desta forma, é possível estimular a contração do músculo agonista e o relaxamento do músculo antagonista. Um exemplo prático seria o reflexo extensor cruzado (Thomson & Hahn, 2012; Uemura, 2017b).

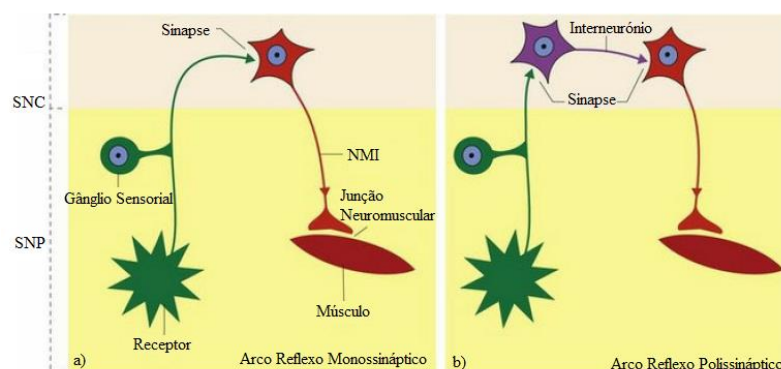


Figura 10: a) Arco reflexo monossináptico. b) Arco reflexo polissináptico. (Adaptado de: Thomson & Hahn, 2012).

O estímulo sensorial dos reflexos provem dos fusos musculares, órgãos tendinosos de Golgi, recetores articulares e táteis. A integração desse estímulo na medula espinhal causa a inibição ou excitação do NMI do membro, do membro oposto ou do membro ipsilateral (Thomson & Hahn, 2012).

O reflexo clássico induzido pelos aferentes cutâneos é o reflexo de flexão (facilitação dos músculos flexores e inibição dos músculos extensores). Foi definido, mais tarde, como um reflexo polissináptico, estimulado principalmente por mecanorreceptores e aferentes nociceptivos, sendo estes últimos geralmente mais eficazes em gatos com lesão medular. Pressão na região plantar do membro gera extensão, e a ativação dos recetores de pressão na almofada plantar central do membro, estimula os músculos extensores do dedo do pé, sem ativação dos extensores do tornozelo, joelho ou anca e sem qualquer inibição recíproca dos músculos flexores antagonistas do dedo do pé. Este reflexo é controlado pelo feixe corticoespinhal e tem como objetivo estabilizar o membro durante a fase de apoio e postura do membro em movimento (Schomburg, 1990).

Os feixes de NMS responsáveis pela fase de suporte são o feixe vestibuloespinhal e o feixe reticuloespinhal pontino (facilitam os músculos extensores), enquanto que o feixe reticuloespinhal medular e o feixe rubroespinhal são responsáveis pelo início da fase de protração (Thomson & Hahn, 2012).

Os reflexos espinhais sofrem modificações durante a locomoção. Os estímulos excitatórios e inibitórios dos neurónios motores originários dos reflexos e dos geradores de padrão central (GPC) estão interligados de modo a produzir um padrão locomotor estável, sob condições variáveis. A regulação dos GPC através de estímulos aferentes incluem: o controlo da transição de uma fase do ciclo de locomoção para a outra, bem como a regulação da atividade dos neurónios motores (McCrea, 2001).

Após uma lesão medular, reflexos cutâneos que normalmente têm um efeito inibitório sobre os músculos extensores, passam a exercer um efeito excitatório, provocando o aumento da atividade desses músculos durante a fase postural (Rossignol & Frigon, 2011).

5. Os Geradores de Padrão Central

A recuperação da locomoção após secção completa da medula espinhal depende da presença de circuitos espinhais capazes de estabelecer a ativação sequencial complexa dos vários músculos dos membros pélvicos. Isto é possível devido ao gerador de padrão central, um circuito intrínseco da medula espinhal, associado à resposta informativa sensorial dos membros pélvicos (Rossignol & Frigon, 2011).

Os GPC, são redes neurais localizadas na medula espinhal, capazes de produzir movimentos rítmicos, como nadar, marchar ou pular, mesmo sem estímulos provenientes do encéfalo ou estímulos sensoriais (MacKay-Lyons, 2002).

O conceito do GPC como uma rede neural capaz de criar atividade motora rítmica, independentemente dos estímulos sensoriais foi descrito pela primeira vez, em invertebrados, por Bullock (1961).

Embora os estímulos sensoriais não sejam necessários para a produção de ritmo, estes são importantes para a adaptação e modulação da locomoção (Rossignol & Frigon, 2011).

5.1 O Papel dos Geradores de Padrão Central na Locomoção

O GPC locomotor espinhal é ativado pelo feixe reticuloespinhal de NMS localizado na ponte do tronco cerebral, que recebe estímulos do mesencéfalo e do hipotálamo lateral (Figura 11) (Jordan *et al.*, 2008).

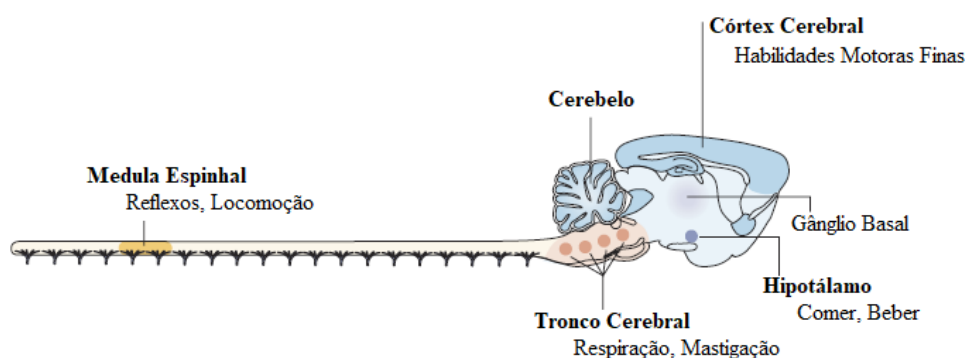


Figura 11: Localização dos diferentes GPC no SNC e respectivos padrões motores. (Adaptado de: Roy *et al.*, 2012).

A locomoção envolve a sincronização entre a flexão e a extensão dos membros e tem por base circuitos reflexos da medula espinhal, no entanto, a medula espinhal por si só não é suficiente para possibilitar a marcha e é necessário, também o estímulo dos centros do encéfalo (Thomson & Hahn, 2012). A alternância entre extensão e flexão dos membros envolve o GPC, localizado na medula espinhal toracolombar, que gera contrações e relaxamentos rítmicos e repetitivos dos músculos flexores e extensores (Thomson & Hahn, 2012; Uemura, 2017b).

O controlo supraespinhal dos GPC espinhais tem origem nos núcleos no mesencéfalo ("região locomotora mesencefálica"). Estes núcleos iniciam a locomoção através da ativação dos neurónios reticuloespinhais do tronco cerebral. No gato, dois feixes descendentes estão envolvidos: o fascículo longitudinal medial, com células originadas na formação reticular pontomedular medial, e o feixe vestibuloespinhal lateral (MacKay-Lyons, 2002).

Nos gatos existe, no mínimo, um GPC para cada membro. Estes encontram interligados, para que haja movimento rítmico coordenado. Como o GPC é independente dos centros motores superiores, um gato com interrupção dos feixes motores descendentes não tem dificuldade em andar num tapete rolante terrestre com apoio, embora não tenha controlo motor voluntário da marcha (Uemura, 2017b).

5.2 As Correntes Internas Persistentes

Existem duas teorias principais sobre a origem do ritmo locomotor. A primeira diz que o ritmo é gerado por neurónios espinhais com propriedades de marca-passo, que sugere a existência de oscilações de um potencial de membrana inerente em alguns neurónios, que sincronizam a atividade dos neurónios não marca-passo. A segunda teoria sugere que o ritmo surge de um grupo de interneurónios excitatórios com descargas sincronizadas e que interagem através de sinapses (Brocard *et al.* 2010).

Um exemplo das propriedades intrínsecas dos neurónios espinhais são as Correntes Internas Persistentes (CIP) dependente de voltagem, que ampliam as despolarizações sinápticas excitatórias, facilitando o movimento rítmico (Brownstone *et al.* 1994; Tazerart *et al.* 2008).

As CIP são correntes dendríticas de cálcio e sódio, estudadas principalmente em neurónios motores, que ampliam o estímulo sináptico e são influenciados por vários neurotransmissores (Rossignol & Frigon, 2011).

A corrente excitatória das sinapses, na membrana somatodendrítica, não é suficiente para levar os neurónios motores às frequências atingidas durante a atividade motora normal. Isto poderia ser explicado se as CIP, presentes principalmente na parte dendrítica da membrana, nos dendritos dos neurónios motores, ampliassem a excitação sináptica (Hultborn *et al.*, 2003).

Devido a essas CIP, os impulsos de corrente despolarizantes de curta duração, poderiam resultar em estímulos autossustentados de longa duração ou potenciais de “plateau”, se os picos de Na^+ forem bloqueados (Hultborn *et al.*, 2003).

As monoaminas, principalmente a serotonina e a noradrenalina, possuem uma grande influência na modulação da amplitude e do limite das CIP. Alguns recetores tornam-se mais sensíveis às fontes endógenas de neurotransmissores restantes. As quantidades de serotonina ou noradrenalina necessárias para ativar as CIP dos neurónios motores são consideravelmente menores após secção completa da medula espinhal em gatos (Rossignol & Frigon, 2011).

5.3 Os Geradores de Padrão Central e a Locomoção Espinhal por Reflexos

Os GPC associados à locomoção possuem circuitos neuronais nas intumescências da medula espinhal, enquanto que os centros de controlo que iniciam e terminam a atividade rítmica estão localizados no tronco cerebral. Como os GPC da medula espinhal iniciam os movimentos rítmicos básicos dos quatro membros, não há necessidade para que os estímulos motores descendentes controlem a atividade muscular, apenas que modulem a atividade dos geradores de padrões espinhais (Thomson & Hahn, 2012; Uemura, 2017b).

A este movimento é chamado de locomoção espinhal por reflexos e pode ser visto em animais com secção crónica da medula espinhal. Os movimentos gerados apenas pela medula espinhal não são úteis, pois é necessário o estímulo dos centros do encéfalo para o equilíbrio, coordenação, iniciação, regulação, modulação e término da locomoção (Thomson & Hahn, 2012).

Os GPC devem realizar duas funções básicas: gerar o ritmo básico e coordenar o padrão de atividade em vários neurónios motores. A locomoção espinhal por reflexos pode ocorrer de forma espontânea ou ser provocada por vários tipos de estímulos (tácteis, eléctricos ou farmacológicos). Durante a locomoção espinhal por reflexos, as fases de extensão e flexão correspondem às fases de postura e oscilação da locomoção (Frigon, 2012).

Os GPC oferecem autonomia para o controlo motor, e geram uma atividade em resposta a um estímulo sensorial, que é específico para a postura e locomoção. Os interneurónios espinhais preveem a próxima sequência lógica de neurónios a serem ativados com base nos grupos específicos de neurónios que foram ativados imediatamente antes (Roy *et al.*, 2012).

5.4 O Papel do Sistema Sensorial na Locomoção Espinhal por Reflexos

A resposta informativa sensorial desempenha um papel importante na geração do ciclo de locomoção. Quando a extensão do membro (fase de postura) alcança um determinado ponto, o recetor sensorial transmite estímulos ao GPC, para que altere a fase do ciclo de locomoção (Uemura, 2017b). Por exemplo, um estímulo aplicado ao dorso do membro do gato (como se tivesse tropeçado) estimula os músculos flexores do membro ipsilateral, quando aplicado durante a fase de oscilação. Da mesma forma, o mesmo estímulo estimula os músculos extensores, quando aplicado na fase de postura do ciclo (Roy *et al.*, 2012). Deste modo os aferentes sensoriais envolvidos nos reflexos musculares e cutâneos possuem funções como manter o equilíbrio e garantir transições entre ciclos de locomoção de forma estável. No entanto, o estímulo sensorial não é necessário para gerar o padrão locomotor estereotipado (MacKay-Lyons, 2002).

A locomoção espinhal por reflexos após secção medular, é desencadeada pelo movimento do tapete rolante terrestre e pela estimulação da região perineal e da base da cauda. Após algumas semanas de treino locomotor, a estimulação da região perineal e da base da cauda já não são necessários para induzir o passo, e o movimento do tapete rolante terrestre é suficiente para induzir a locomoção (Rossignol *et al.*, 2002).

Em termos gerais, a estimulação dos aferentes dos membros pélvicos ipsilaterais afetam o GPC (durante a locomoção espinhal por reflexos), de uma das seguintes formas (Mccrea, 2001):

1. Iniciar ou promover a extensão;

2. Iniciar ou promover a flexão;
3. Gerar reflexos especializados, de forma a adaptar a marcha às perturbações específicas que ocorrem.

Quando se realiza uma deservação de todos os nervos cutâneos, da região distal do membro pélvico, abaixo do tornozelo (bilateralmente), os gatos que, após secção medular, recuperaram a locomoção no tapete rolante terrestre, agora já não conseguiam colocar a região plantar do membro pélvico no tapete rolante terrestre. Isto revela que embora os gatos saudáveis consigam compensar a falta de estímulos cutâneos usando outras respostas informativas sensoriais (proprioceativas), os gatos com lesão medular precisam dessa informação cutânea para realizar a locomoção de forma adequada e apresentar contacto plantar do membro com o tapete rolante terrestre (Rossignol *et al.*, 2002).

Embora as durações e mudanças das fases sejam geridas pelo GPC, os estímulos supraespinhais e dos mecanorreceptores periféricos alteraram o tempo do padrão do movimento (Frigon, 2012).

A locomoção espinhal por reflexos pode ser produzida por estimulação elétrica do mesencéfalo ou por administração de adrenérgicos e outros agonistas. O circuito que é usado durante a locomoção espinhal por reflexos é apenas um subconjunto do sistema que funciona durante a locomoção real em animais saudáveis. O córtex, a resposta informativa proprioceativa e outros aferentes sensoriais estão ausentes nestes casos. Apesar disso, o padrão da locomoção espinhal por reflexos assemelha-se à locomoção real em muitos aspetos, incluindo a sequência de ativação dos neurónios motores e a frequência/intervalos de tempo entre ciclos de locomoção (Mccrea, 2001).

5.5 O Papel dos Neuromoduladores na Locomoção Espinhal por Reflexos

Os neuromoduladores desempenham um papel importante na reconfiguração do circuito GPC, para realizar variantes de um padrão motor rítmico, bem como diferentes tarefas motoras rítmicas (Frigon, 2012).

Os GPC não produzem padrões motores estereotipados, mas sim padrões flexíveis e adaptativos. Os neuromoduladores alteram as propriedades funcionais dos circuitos neuronais,

facilitando, inibindo, ou iniciando a atividade motora, assim como modificando as características celulares e sinápticas dos neurónios (MacKay-Lyons, 2002).

Os neurotransmissores são libertados ao longo da coluna vertebral, e devido ao facto de que diferentes subtipos de recetores são distribuídos ao longo dos segmentos espinhais, os fármacos que agem nesses recetores exercem funções muito diferentes na geração de ritmo e formação de padrões de movimentos rítmicos de um ou vários membros. Esta organização complexa no encéfalo e no tronco cerebral serve para regular as projeções descendentes a nível do GPC para iniciar e modular movimentos locomotores (Frigon, 2012).

Durante a locomoção, os neurónios motores recebem impulsos rítmicos alternados de excitação glutamatérgica e inibição glicinérgica. Após lesão medular, a excitabilidade de interneurónios espinhais e neurónios motores está reduzida, devido à ausência de neuromodulação excitatória proveniente do tronco cerebral, especialmente por via de monoaminas como a noradrenalina (NA) e a serotonina (5-HT), que possuem uma grande influência sobre as CIP (Rossignol & Frigon, 2011).

Para além da perda dos estímulos das estruturas supraespinhais, as mudanças na ativação dos padrões podem ser justificadas pelo facto das redes de GPC que normalmente controlam várias formas de locomoção (andar para a frente, andar para trás, correr) fiquem sobrepostas, pois os sinais descendentes não são capazes de produzir ou segregar os diferentes estímulos (Frigon, 2012).

O GPC é iniciado no tronco cerebral por vários feixes, que se projetam para a medula espinhal. Os neurónios do tronco cerebral que estão envolvidos em promover o início da locomoção são: neurónios glutamatérgicos, noradrenérgicos (NA), dopaminérgicos (DA) e serotoninérgicos (5-HT), que dão origem aos feixes descendentes (Figura 12) (Jordan *et al.* 2008).

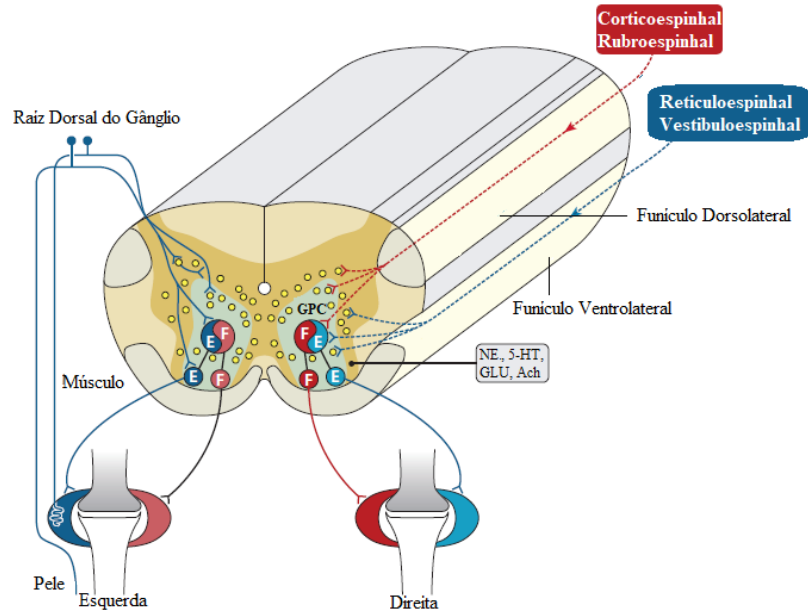


Figura 12: Estrutura geral do controle locomotor. E- Interneurônios especializados com ação nos músculos extensores; F- Interneurônios especializados com ação nos músculos flexores; NE- Norepinefrina; 5-HT- Serotonina; GLU- Glutamato; Ach- Acetilcolina. (Adaptado de: Rossignol & Frigon, 2011).

Mesmo após a secção da medula espinhal e a degeneração dos terminais do sistema monoaminérgico, os recetores pós-sinápticos continuam presentes nos neurónios abaixo da secção. Deste modo, ao administrar fármacos que atuem nesses recetores pós-sinápticos, é possível avaliar e comparar os efeitos desses fármacos nos mecanismos locomotores da medula espinhal, sem os efeitos das ações noutros locais (Barbeau & Rossignol, 1991).

A clonidina, um estimulador do recetor noradrenérgico, liberta uma rede neuronal espinhal promovendo a locomoção (Forssberg and Grillner, 1973). Foi demonstrado por Forssberg e Grillner (1973), que a clonidina pode induzir a locomoção nos gatos com secção medular, criando um intervalo de tempo de 4-6 h para treinar os gatos num tapete rolante terrestre, após uma única injeção. Demonstraram, também, que injeções diárias de clonidina, associadas a um treino locomotor diário, resultou numa recuperação mais satisfatória da locomoção no tapete rolante terrestre, de tal modo que ao 6º a 11º dia, todos os gatos conseguiram realizar passos com um contato plantar do membro e com suporte de peso dos membros pélvicos.

Também Barbeau *et al.* (1993), estudaram o efeito da combinação do treino locomotor com injeções intra-peritoneais diárias de clonidina, a partir do 2º dia ao 9º dia após a secção da medula espinhal, para ativar os GPC locomotores. A clonidina melhorou o efeito do treino, sendo

o padrão locomotor semelhante àquele alcançado após 3 a 4 semanas de treino, sem o uso de clonidina. Além de que, o padrão locomotor resultante, continuou após o término do uso do fármaco.

Barbeau & Rossignol (1991), apresentaram resultados que demonstram que o sistema noradrenérgico é provavelmente o sistema mais importante para iniciar a locomoção. Os três sistemas descendentes monoaminérgicos (noradrenérgicos, dopaminérgicos e serotoninérgicos) podem modificar aspectos diferentes do padrão locomotor bem estabelecido no mesmo gato e o efeito dos fármacos monoaminérgicos são reproduzíveis quando administrados em períodos de tempo semelhantes em diferentes gatos.

O sistema noradrenérgico parece ser o único sistema capaz de induzir locomoção na primeira semana após a lesão espinhal. Apesar dos agonistas serotoninérgicos serem capazes de modular o padrão de locomoção quando já existe um padrão de locomoção espontâneo, não é capaz de desencadear a locomoção em gatos com lesão medular (Rossignol *et al.*, 2002).

A secção medular remove todos os estímulos noradrenérgicos e serotoninérgicos descendentes (Figura 13), deste modo é claro que a locomoção espontânea da medula espinhal é independente destes neurotransmissores. Apesar dos agonistas, como a clonidina, agirem nos recetores noradrenérgicos e desencadearem locomoção após lesão medular, isto não significa que esses recetores sejam necessários para haver locomoção espontânea (Rossignol & Frigon, 2011).

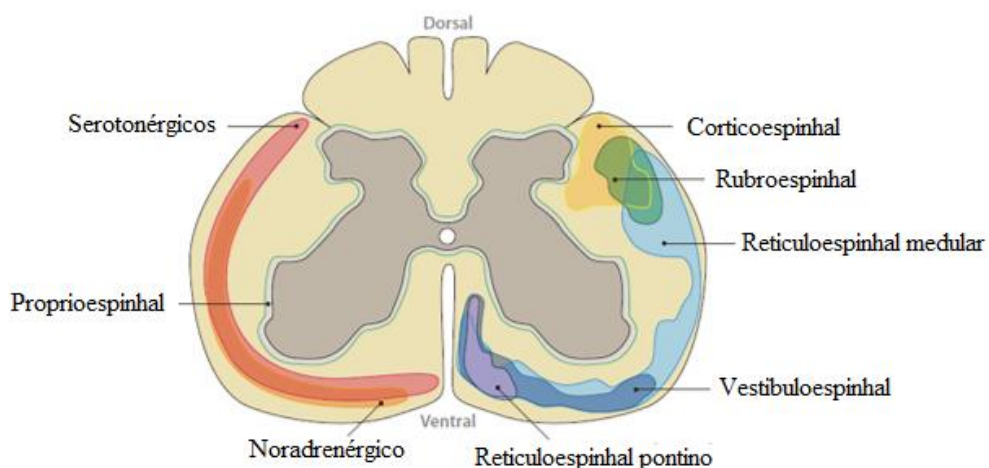


Figura 13: Feixes descendentes no gato. (Adaptado de: Rossignol & Frigon, 2011).

A locomoção é estimulada pelo feixe descendente reticuloespinhal da medula espinhal. A locomoção por reflexos dos membros pélvicos foi induzida em animais em repouso através da administração intratecal de NMDA, em combinação com o bloqueador da captação de aminoácidos excitatórios, o ácido diidroquinico (DHK), o que sugere que os aminoácidos excitatórios desempenham um papel importante em iniciar a locomoção (Jordan *et al.* 2008).

Os agonistas do glutamato provocam locomoção em gatos adultos, provando a existência de uma via glutamatérgica descendente proveniente da formação reticular, até ao GPC (Jordan *et al.* 2008).

6. O Treino Locomotor

O treino locomotor após lesão da medula espinhal tem como base o princípio que os estímulos sensoriais reativam e reorganizam o circuito locomotor espinhal (Rossignol & Frigon, 2011).

O treino locomotor para o controlo neural da locomoção tem por base (Roy *et al.*, 2012):

1. A autonomia da medula espinhal;
2. A influência dos estímulos sensoriais na autonomia da medula espinhal;
3. A neuromodulação e a capacidade de aprendizagem do circuito locomotor da medula espinhal;
4. A importância das vias descendentes no controlo da locomoção.

A locomoção é o padrão rítmico primitivo evocado pela medula espinhal, pois é o ritmo que ocorre espontaneamente após a descerebração em gatos adultos. No caso dos membros pélvicos, após algumas semanas de treino locomotor, um arrastar do dorso do membro num tapete rolante terrestre em movimento é suficiente para obter passos bilaterais com suporte de peso (Frigon, 2012). O estímulo sensorial dos membros pélvicos é a fonte primária para o controlo da locomoção (Roy *et al.*, 2012).

Estudos anteriores mostraram que a locomoção resulta da interação entre três níveis ("sistema tripartido"): um nível espinhal onde os circuitos lombossacrais são os principais responsáveis pela organização e expressão dos padrões locomotores (GPC), as estruturas supraespinhais capazes de estimular e/ou modular os GPC, e, por fim, os aferentes sensoriais dos membros que informam os *networks* espinhais e as estruturas supraespinhais acerca da posição dos membros nas várias fases da locomoção (Delivet-Mongrain *et al.*, 2020).

Os gatos têm, particularmente bem desenvolvida, a capacidade para a locomoção espinhal por reflexos, podendo recuperar, espontaneamente, a locomoção dos membros pélvicos, num tapete rolante terrestre em vários dias/semanas após uma secção completo da medula espinhal em T13. Para além disso, duas a três semanas após uma seção da medula espinhal em T13, os gatos conseguem fazer contato plantígrado e sustentar o peso dos membros pélvicos (Rossignol & Bouyer, 2004).

A intensidade do treino no tapete rolante terrestre também mostrou ter efeitos importantes na recuperação da locomoção (Rossignol & Bouyer, 2004).

Os níveis de ácido γ -aminobutírico (GABA), um neurotransmissor inibitório, são elevados nas áreas das lesões da medula espinhal. O treino locomotor nos animais lesionados leva a uma redução dos níveis de GABA. A administração de bicuculina, um bloqueador dos recetores GABA, pode melhorar a locomoção no gato (Edgerton *et al.*, 2001). Além disso, as CIP são extremamente sensíveis à inibição pós-sináptica. Os níveis de GABA são diminuídas pelo treino locomotor no tapete rolante terrestre, mas não por treino de suporte de peso (Rossignol & Frigon, 2011).

A estricnina, um antagonista do recetor glicinérgico (o segundo maior neurotransmissor inibitório da medula espinhal), também tem influência na capacidade locomotora. Gatos treinados para suporte de peso e sem capacidade de gerar locomoção, 45 min. após receber uma única dose de estricnina, conseguiam gerar suporte total de peso, assim como dar passos. Doses equivalentes administradas em gatos que foram treinados para produzir passos tiveram pouco efeito sobre sua habilidade de locomoção. Esses resultados sugerem que o treino tem um papel importante na resposta aos fármacos, assim como um efeito na bioquímica da medula espinhal, especificamente nos recetores de glicina (de Leon *et al.* 1999a).

Estas vias glicinérgicas podem ser modificadas através de treinos repetidos aos membros pélvicos, para locomoção ou suporte de peso, reduzindo ou aumentando a inibição glicinérgica na medula espinhal, respetivamente (de Leon *et al.* 1999a).

6.1 As Principais Investigações

Num estudo de Forssberg *et al.* (1980a,b), foi possível recuperar a locomoção dos membros pélvicos em gatos jovens (duas semanas de idade) com secção completa da medula espinhal em T13, após algumas semanas de treino locomotor no tapete rolante terrestre.

Um estudo realizado por Belanger *et al.* (1996), mostra que, apesar da falta de coordenação entre os membros torácicos e pélvicos, o controlo voluntário dos membros pélvicos e o equilíbrio instável, a medula espinhal adulta dos gatos pode gerar padrão locomotor nos membros pélvicos, com as mesmas características observadas antes da secção medular.

Mesmo quando os gatos conseguem sustentar o peso dos membros pélvicos, o equilíbrio deve ser garantido segurando a cauda (Rossignol & Bouyer, 2004).

A atividade dos músculos dos membros pélvicos (eletromiografia) durante a locomoção no tapete rolante terrestre é semelhante antes e depois da lesão medular, no mesmo gato (Belanger *et al.* 1996). No entanto, as amplitudes nos músculos extensores podem ser menores, provavelmente devido à ausência dos feixes vestibuloespinhais ou reticuloespinhais (Rossignol & Frigon, 2011).

Os resultados de Barbeau & Rossignol (1987), sugerem que os gatos após secção espinhal podem recuperar as funções locomotoras dos membros pélvicos, com suporte de peso e colocação digitígrada plantar dos membros, após duas a três semanas de treino. Sugerem também, que a idade da secção medular é importante, e que os gatos adultos não recuperam as funções locomotoras tão bem como os gatos mais jovens.

6.2 As Propriedades da Medula Espinhal

Após lesão na medula espinhal, a região lombosagrada é significativamente reorganizada, fisiologicamente e bioquimicamente. A medula espinhal caudal à lesão pode ser considerada uma "nova medula espinhal" (Figura 14) (Edgerton *et al.*, 2001).

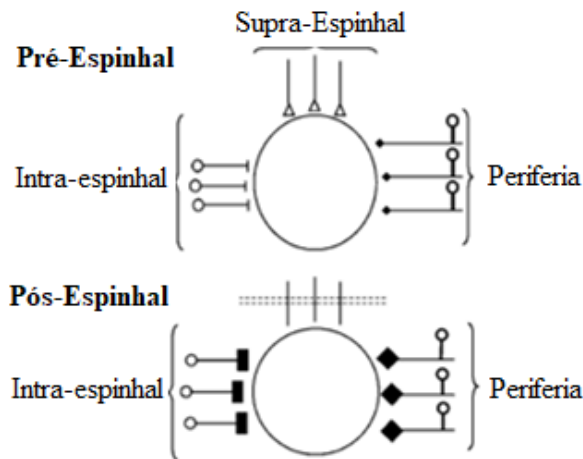


Figura 14: Na parte superior da figura, as sinapses são supraespinhais, intraespinhais ou aferentes periféricas (proprioceativas). A parte inferior da figura ilustra que após lesão medular, todas as sinapses de origem supraespinhal estão ausentes. Como resultado da ausência de sinapses de origem supraespinhal, as restantes sinapses teriam um novo efeito pelo facto de não partilharem o seu efeito com as sinapses dos neurónios supraespinhais. Além de que, há reorganização sináptica nas restantes sinapses (ilustrado pelas sinapses aumentadas na parte inferior da figura). (Adaptado de: Edgerton *et al.*, 2001).

O treino com recurso ao tapete rolante terrestre para recuperar a locomoção em animais com medula espinhal seccionada, implica a plasticidade uso-dependente das vias espinhais envolvidas na geração da locomoção (MacKay-Lyons, 2002). Apenas uma pequena percentagem da medula espinhal (cerca de 10% da substância branca) é necessária para iniciar e manter o padrão locomotor quadrúpede, de forma voluntária, num tapete rolante terrestre, permitindo até mesmo ultrapassar obstáculos (Delivet-Mongrain *et al.*, 2020).

A capacidade de dar passos bípedes no tapete rolante terrestre, após secção medular, foi superior nos gatos treinados quando comparado com aqueles não treinados. Na quinta semana, os gatos treinados davam passos com velocidades 6 vezes superiores do que as atingidas pelos gatos não treinados (de Leon *et al.*, 1998).

A especificidade do treino na recuperação da mobilidade tem uma origem neural, e não uma origem muscular. Gatos adultos com secção da medula espinhal no nível da T13 que foram treinados para suportar o seu peso nos membros pélvicos tiveram dificuldade em dar passos, enquanto os gatos que foram treinados para dar passos tiveram dificuldade em manter a estação. Ambos os grupos tiveram sessões de treino diário por 30 minutos, durante 6 meses após a secção medular, e obtiveram o pico de performance entre 2 a 4 meses (Edgerton *et al.*, 1991).

Além disso, como já referido anteriormente, os níveis de GABA diminuem quando os gatos lesionados são treinados para dar passos. A habilidade de dar passos no gato lesionado parece ser inversamente proporcional aos níveis de GABA nos segmentos da medula espinhal lombar, independentemente da duração da lesão (Edgerton *et al.*, 2001). Deste modo, ao reduzir o nível de inibição dos circuitos espinhais, através do treino locomotor ou farmacológico, facilita a recuperação funcional (Rossignol & Frigon, 2011).

As mudanças plásticas funcionais a nível da medula espinhal podem ser observadas em gatos submetidos a uma secção completa da medula espinhal, após uma hemissecção espinhal 3 semanas antes. Estes gatos conseguem reexpressar a locomoção dos membros pélvicos horas após a secção medular completa (Martinez *et al.*, 2012), o que leva, normalmente, 2 a 3 semanas para ser conseguido (Barbeau e Rossignol, 1987). Esta recuperação tão rápida implica mudanças na excitabilidade do circuito locomotor da medula espinhal abaixo da hemissecção que ocorreu durante o período entre a hemissecção e a secção completa (Delivet-Mongrain *et al.*, 2020).

Em animais submetidos a treino locomotor, as principais alterações foram observadas no lado da hemissecção anterior, que resultou numa melhoria do padrão locomotor do membro pélvico. Estes resultados mostram que as alterações intraespinhais resultantes da hemissecção anterior não são constantes, e que a medula espinhal tem a capacidade intrínseca de se adaptar em resposta ao treino (Martinez *et al.*, 2012).

A medula espinhal lombosagrada do gato pode executar e controlar movimentos locomotores complexos de modo a que seja possível a sustentação total do peso, na ausência de qualquer estímulo supraespinhal. Foi também demonstrado que a região lombosagrada da medula espinhal é capaz de responder a estímulos sensoriais, de forma a produzir uma resposta motora não estereotipada, que pode variar qualitativamente e quantitativamente, dependendo do estado fisiológico da medula espinhal (Edgerton *et al.*, 1991).

A medula espinhal pode, por si só, dar origem à locomoção dos membros pélvicos. Um estudo de Forssberg and Grillner (1973), revelou que após a injeção de clonidina, os gatos não apresentam atividade espontânea. No entanto, quando o tapete rolante terrestre estava em movimento, os gatos apresentavam locomoção com os dois membros pélvicos.

Num outro estudo, Barbeau & Rossignol (1991), demonstraram que após uma injeção de um precursor de noradrenalina (L-DOPA) ou de um agonista (clonidina), a locomoção foi induzida quando os membros pélvicos foram colocados num tapete rolante terrestre em movimento. Além disso, o gato apresentou um apoio na superfície plantar dos membros bilateralmente, bem como suporte do peso transitório dos membros pélvicos num tapete rolante terrestre, com velocidades até 0,80 m/s (Barbeau & Rossignol, 1991).

6.3 A Hidroterapia e a Electroestimulação

Nos últimos anos, a hidroterapia ou terapia aquática tornou-se uma parte importante da reabilitação funcional. Os exercícios realizados na água são muito diferentes dos exercícios realizados em terra, consequência de alguns princípios e propriedades sobre as quais a água influi: gravidade específica, flutuabilidade, pressão hidrostática, viscosidade, tensão superficial e refração. Os benefícios da hidroterapia para os animais incluem (Monk, 2007):

- Fortalecimento e aumento do tónus muscular;
- Prevenção de atrofia muscular;
- Aumento da massa muscular;
- Aumento da amplitude do movimento articular e redução da rigidez;
- Redução do espasmo muscular.

A estimulação elétrica ou mecânica dos aferentes sensoriais da medula espinhal, raízes dorsais, ou nervos periféricos, pode iniciar ou modificar a atividade locomotora de forma semelhante à neuromodulação farmacológica (Frigon, 2012). A relevância em relação aos estímulos cutâneos na cauda e no períneo é que a medula espinhal responde num comportamento semelhante ao locomotor, independentemente da natureza contínua ou intermitente do estímulo e do local cutâneo estimulado (Edgerton *et al.*, 1991).

MacKay-Lyons (2002) acredita que combinação da farmacoterapia com um protocolo de marcha com suporte de peso e a estimulação elétrica de aferentes sensoriais pode levar a ativação mais eficaz dos GPC espinhais.

Após leitura intensiva, a autora sentiu curiosidade de perceber a evolução locomotora em gatos que se apresentem com ausência de dor profunda, sabendo que na escolha da população de gatos grau 0 na EFM, crónicos (mais de 3 meses após lesão) teria a possibilidade de observar alterações em reflexos, no tónus e na correlação do sistema propioespinal manifestado pela coordenação dos membros torácicos com os membros pélvicos, secundárias aos protocolos de neuroreabilitação intensivos e não unicamente à reorganização espontânea da neuro plasticidade da medula espinhal.

Os objetivos do presente estudo pretendem avaliar:

- A segurança do protocolo de neuroreabilitação intensivo (PNRI);
- A capacidade de permitir que gatos com a classificação de grau 0 segundo a EFM, possam evoluir neurologicamente, conseguindo atingir a ambulação.

Parte III- Material e Métodos

O presente estudo prospetivo foi realizado no HVA/CRAA, no período compreendido entre 15 de setembro de 2014 até 15 de março de 2021, de acordo com a comissão de ética da ULHT. Todos os tutores obtiveram conhecimento, dando o seu consentimento para a elaboração do estudo (Anexo 1). A autora apenas trabalhou com os gatos submetidos ao estudo entre o período de 15 setembro de 2020 até 15 março de 2021 (5 de 9 gatos), ficando responsável pela coordenação dos casos clínicos do presente estudo.

O estudo selecionou nove casos clínicos de gatos, com a classificação de grau 0 segundo a escala de Frankel modificada (EFM) (Apêndice II).

Todos os gatos foram submetidos a meios complementares de diagnóstico, antes da hospitalização, que foram simultaneamente:

- Radiologia (Rx)
- Mielotomografia computadorizada (Mielo-TC)

Assim sendo, na admissão dos doentes para o estudo, os gatos apresentaram o mesmo tipo de lesão medular e de neurolocalização. Todos os gatos foram sujeitos ao mesmo protocolo de neuroreabilitação funcional intensivo, ao longo de 2 a 3 meses de hospitalização, no CRAA.

1. Critérios de inclusão

Para o presente estudo foram incluídos apenas gatos com mielopatia não compressiva de origem traumática, diagnosticados por meios complementares de diagnóstico (Rx e mielo-TC), com neurolocalização T3-L3 e com mais de 3 meses após a lesão. Os gatos, na admissão ao estudo, foram também selecionados por apresentarem-se em grau 0 na EFM, ou seja, paraplégicos com ausência da sensibilidade à dor profunda (SP), independentemente da idade, sexo e peso. Outro critério de inclusão foi a ausência de sensibilidade superficial (SS), ao nível da cauda (base e ponta) e ao nível do períneo. Os gatos na admissão demonstraram todos bexigas neurogénicas, de difícil expressão, compatível com uma lesão de NMS.

2. Critérios de exclusão

No estudo, foram assim excluídos gatos com:

- Mielopatias compressivas;
- Mielopatias não compressivas com outra neurolocalização para além da T3-L3;
- Mielopatias não compressivas com neurolocalização T3-L3, mas com grau maior que 0 segundo a EFM;
- Mielopatias não compressivas, com neurolocalização T3-L3 e com grau 0 segundo a EFM, mas com presença de sensibilidade superficial na cauda (base e ponta) e no períneo;
- Mielopatias não compressivas T3-L3 de grau 0 na EFM e sem sensibilidade à dor profunda e à dor superficial, mas com incontinência urinária.

3. Desenho do estudo

A base de dados e análise estatística foi elaborada, através do programa informático Microsoft Office Excel 2013 ® (Microsoft, EUA).

Foram admitidos no estudo, de forma aleatória (i.e. independentemente da raça, sexo, idade, peso ou condição corporal), os animais que cumprissem os critérios de inclusão definidos. Inicialmente os animais foram sujeitos a uma consulta de neuroreabilitação e depois direccionados para o regime de internamento no CRAA.

O protocolo de neuroreabilitação intensivo foi iniciado 24 horas após a admissão ao estudo, de modo a permitir a adaptação dos animais ao novo ambiente hospitalar. Todos os gatos, a partir desta altura, iniciaram o PNRI que decorreu durante 6 dias por semana, entre as 10 da manhã até as 18 horas.

Os gatos foram avaliados a cada 7 dias durante o período de 2 a 3 meses, sempre pelo mesmo observador, no mesmo local e no mesmo horário, com filmagem da marcha na alternância dos pisos. O PNRI foi reavaliado semanalmente considerando a evolução neurológica dos doentes.

Os gatos que atingiram a ambulação antes dos 3 meses, tempo limite para o PNRI, tiveram alta médica, e foram redireccionados para a consulta de reavaliação de neuro-reabilitação.

4. Consulta de neuro-reabilitação

Os gatos do estudo são ambientados ao novo espaço, sendo avaliados em relação à marcha, demonstrando o estado paraplegia associado a eventuais posturas anormais da coluna vertebral, tais como lordose, cifose e escoliose.

A etiologia do estudo foi o traumatismo da medula espinhal, mas sem lesão na coluna vertebral (exemplo: fraturas ou luxações) e com possível contusão do parênquima de medula espinhal, para além de demonstrar hiperextensão tarsiana nos membros pélvicos.

Os reflexos espinhais periféricos foram avaliados através da percussão com o martelo de Taylor. Quanto ao membro torácico, todos os gatos foram avaliados com o reflexo extensor radial do carpo e o reflexo flexor. Em gatos mais stressados, apenas este último reflexo foi testado (e normalmente com o gato sentado ao nosso colo), tendo-se obtido resultados normais, tratando-se de uma lesão com neurolocalização T3-L3. Relativamente ao membro pélvico (Tabela 7), foram avaliados o reflexo patelar (RP), o reflexo tibial cranial, o reflexo extensor cruzado (REC) e o reflexo flexor (RF) (figura 15), sendo este último o escolhido em situações de stress.



Figura 15: Avaliação do reflexo flexor (Imagem gentilmente cedida pelo HVA/CRAA).

Tabela 7- Classificação dos reflexos espinhais periféricos e do tônus muscular do reto abdominal, à entrada no CRAA.

Animal	RF	RCT	REC	RP	RB	TRA
I	Presente Bilateral	Presente no local da lesão	Presente Bilateral	Clónico	Ausente	Normal
II	Presente Bilateral exagerado	Presente no local da lesão	Presente Bilateral	Clónico	Ausente	Diminuído
III	Presente Bilateral	Presente no local da lesão	Presente Bilateral	Clónico	Ausente	Diminuído
IV	Presente Bilateral Diminuído	Presente abaixo da lesão	Presente Bilateral Diminuído	Clónico	Ausente	Diminuído
V	Presente Bilateral Diminuído	Presente no local da lesão	Presente Bilateral	Presente	Ausente	Diminuído
VI	Presente Bilateral	Presente no local da lesão	Presente Bilateral	Presente	Presente	Normal
VII	Presente Bilateral	Presente acima da lesão	Presente Bilateral Diminuído	Presente	Ausente	Diminuído
VIII	Presente Bilateral Diminuído	Presente acima da lesão	Ausente	Ausente	Ausente	Diminuído
IX	Presente Bilateral Diminuído	Presente acima da lesão	Presente Bilateral Diminuído	Ausente	Ausente	Diminuído

RF- Reflexo flexor; RCT- Reflexo cutâneo do tronco ; REC- Reflexo extensor cruzado; RP- Reflexo patelar; RB- Reflexo Babinski; TRA- Tônus muscular do reto abdominal.

Com os gatos em decúbito esternal foi avaliado o Reflexo cutâneo do tronco (RCT), que de forma fisiológica, deve estar presente da região da vértebra L7 até à T2.

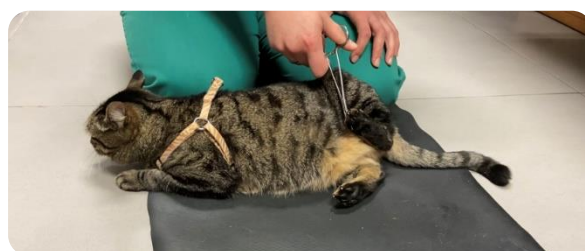
No mesmo exame foi avaliada a capacidade de tônus muscular, verificando-se em todos os doentes contratura ou encurtamento do músculo quadríceps femoral, associado a hipotensão do grupo dos músculos flexores. Foi também avaliado o tônus muscular do reto abdominal (TRA).

Os gatos foram colocados em posição de decúbito lateral na realização do reflexo flexor, podendo-se observar que ao mesmo tempo que é fletido o membro pélvico ocorre a extensão do membro pélvico colateral, sendo este o reflexo extensor cruzado (figura 16), patognomónico de lesões de NMS crónicas.



Figura 16: Avaliação de reflexo extensor cruzado (Imagem gentilmente cedida pelo HVA/CRAA).

Por fim, foi avaliada a sensibilidade à dor superficial, ou seja, os dermatomas do membro pélvico, seguida da avaliação da sensibilidade à dor profunda em relação ao dígito medial e lateral de cada membro. Para este procedimento é utilizada uma pinça mosquito *Halstead*, de pontas retas, de 12 cm (figuras 17 e 18), pretendendo-se avaliar a alteração de comportamento, que pode variar de uma atitude rápida, voluntária e consciente de defesa, até uma reflexa manifestação de midríase no caso de doentes deprimidos, não tendo ocorrido neste estudo.



Figuras 17 e 18: Avaliação da sensibilidade à dor profunda em relação ao dígito medial e lateral do membro pélvico esquerdo (Imagens gentilmente cedidas pelo HVA/CRAA).

5. Protocolo de neuroreabilitação intensiva

O protocolo de neuroreabilitação intensiva consistiu principalmente em treino locomotor e electroestimulação. O treino locomotor foi baseado na repetição, recorrendo ao treino locomotor terrestre, numa primeira fase com suporte do peso. Existem duas modalidades para iniciar o respetivo treino, embora a capacidade de estimulação do sistema nervoso central seja diferenciada entre ambas: o treino locomotor bípede (TLB) e o treino locomotor quadrúpede (TLQ).

No TLB, o doente foi colocado no tapete rolante terrestre tendo os membros torácicos sobre uma plataforma de superfície lisa, apresentando apenas movimento de marcha nos membros pélvicos, tendo sido sugerido ser um exercício com o objetivo de ativar o circuito neural intrínseco localizado na intumescência lombosagrada, ativando os interneurónios motores, assim como os GPC.

O TLB deve ser efetuado num ambiente calmo. O reabilitador aborda o doente colocando-se por detrás e, sentado com postura correta, inicia os movimentos de bicicleta com ritmo constante. Começa-se com uma periodicidade de 3 a 6 vezes ao dia durante 2 a 5 minutos, aumentando, com o decorrer da hospitalização, para 4 a 6 vezes ao dia, durante cerca de 20 minutos. Se o tónus no músculo quadríceps femoral estiver normal, sem sinais de espasticidade evoluindo para rigidez, o movimento de bicicleta deve ser efetuado sem grande amplitude. No entanto, se o tónus do músculo quadricípite femoral estiver diminuído deverá se estimular as fibras intrafusais com o estiramento do membro pélvico, num ato inicial de protração. Algumas vezes, para obter o ciclo da marcha, existe estimulação da região perineal ou com auxílio da estimulação da ponta da cauda. Todo o TLB deverá ser realizado com suporte de peso, até que o doente obtenha estação ativa no mínimo por alguns segundos.

No TLQ, o doente realiza marcha com os membros torácicos, o que já não ocorre com os membros pélvicos, sendo estes mobilizados com movimentos de bicicleta, elaborados pelo médico veterinário ou enfermeiro veterinário da área clínica. Foi efetuada a palpação dos músculos de modo a valorizar o seu tónus e a estimulação local das fibras musculares, ou seja, sempre que os músculos se encontrem flácidos os movimentos de bicicleta deverão efetuar o estiramento durante a fase de protração do ciclo da marcha, assim como com músculos encurtados e dolorosos o mesmo movimento de bicicleta não será acompanhado por medidas de

estiramento das fibras musculares, mas sim, por estimulação dos recetores nociceptivos localizados a nível distal do membro e no espaço interdigital.

O TLQ permite ainda orientar a estimulação do sistema proprioespinhal coordenador entre membros torácicos e membros pélvicos, pois esta aquisição demonstra a reorganização neural exigida na locomoção normal. O TLQ numa primeira fase é elaborado 4 a 8 vezes ao dia, por períodos curtos no início, de 2 a 5 minutos, tendo como objetivo atingir tempos superiores a 30 minutos de modo a ser compatível com a libertação de neurotrofinas de papel regenerador, como ocorre com o fator neurotrófico derivado do cérebro. Nesta fase os treinos passam a 3 vezes por dia, durante 5 a 6 dias por semana.

O treino locomotor efetuado no tapete rolante aquático (TRA) foi iniciado após existir tranquilidade no exercício no tapete rolante terrestre, tendo sido efetuada a mesma logística quanto ao tipo de treino. A maioria dos gatos necessitou do treino bípede em primeiro lugar até se habituar ao meio aquático, embora exista uma tendência para gatos que unicamente efetuam o treino bípede, possam não tolerar o treino locomotor em meio aquático. Nestes casos, a linha de água deve ficar ao nível do epicôndilo lateral do fémur de modo a não oferecer a sensação de flutuação, pois alguns sentem-se desequilibrados. Neste treino é fundamental respeitar o silêncio e promover o ambiente calmo, assim como a temperatura da água, que deve respeitar os 24 a 26 graus Celsius. Este tipo de treino é efetuado uma vez por dia, 4 a 5 dias por semana.

Os gatos devem ter o peitoral colocado de modo a existir um sistema de corda orientativo, numa fase inicial, pelo técnico da área da reabilitação, que se deve encontrar no exterior do tapete rolante aquático. Todas as sessões de treino locomotor em tapete aquático exigem que o reabilitador se encontre sempre dentro do meio aquático, de modo a orientar o ciclo da marcha demonstrada após estimulação da cauda ou do períneo, e ainda de modo a efetuar, numa fase inicial (plegia) os movimentos de bicicleta para estimulação do fuso muscular (fibras intrafusais). Após o treino no TRA, os gatos devem ser secos com toalha absorvente num ambiente calmo.

O treino locomotor é composto ainda por exercícios de cinesioterapia passivos, ativos assistidos e ativos, tendo sido realizado neste estudo diferentes exercícios, que serão descritos em seguida:

- Estação em solo não escorregadio, 2 a 5 minutos. Na fase em que demonstra, após estimulado e com suporte do peso, movimento coordenado dos membros, a

estação pode ser realizada num trampolim ou em pranchas de desequilíbrio. Este exercício deve ser repetido 3 a 5 vezes por dia, durante 5 dias por semana;

- Estimulação da marcha em alternância de pisos durante 2 minutos, 2 a 4 vezes ao dia, durante 5 dias por semana;
- Passagem de obstáculos, como por exemplo: *cavaletis rails*, durante 2 minutos, 2 a 4 vezes ao dia, durante 5 dias por semana;

Todos estes exercícios foram prescritos de acordo com a capacidade de cada gato e coordenados de acordo com a evolução do grau neurológico de cada indivíduo. O gato, na realização do treino locomotor deve ser estimulado sempre para obter automaticidade e revelar independência.

A modalidade de reabilitação de electroestimulação em gatos, por vezes, não é fácil de executar. Nos doentes que apresentam encurtamento do quadríceps femoral associado a hipotonicidade dos flexores foi prescrita electroestimulação segmental segundo o trajeto do nervo ciático, com um eléctrodo na região anatómica L7- S1/S2 e o outro na região próxima à placa motora, ou seja, normalmente na região ventro-medial. Os parâmetros da corrente eléctrica foram de 40-60 Hz, até 24 mA, com ciclo de trabalho de 1 disparo para 4 de repouso (1:4) e rampa 4 segundos na subida, 8 segundos no *plateau* e 2 segundos na descida. Esta modalidade deve ser efetuada 2 vezes ao dia, durante 5 dias por semana. A miliamperagem deve ser aplicada com observação constante do músculo, de modo a que o limite seja a contração involuntária máxima, mas dentro da área de bem-estar do doente. A corrente utilizada é bipolar e triangular, de modo a estimular a contração do grupo flexor para além da estimulação dos interneurónios do membro pélvico contralateral.

6. Monitorização da população do estudo

No presente estudo a evolução neurológica até ao estado ambulatorio foi avaliada no momento da admissão ao estudo, pela consulta de neuroreabilitação (M0) e depois de 15 dias de hospitalização (M1). Os animais foram reavaliados novamente após 2 semanas (M2), seguido de intervalo de 4 semanas (M3) e novamente de intervalo de 4 semanas (M4). Temos que ter em consideração que gatos que atinjam o estado ambulatorio podem ter alta médica

continuando o estudo nas consultas de reavaliação, sendo estas realizadas ao fim de 15 dias (R1), 1 mês (R2), 3 meses (R3), 6 meses (R4), 1 ano (R5), 2 anos (R6) e 3 anos (R7).

Para melhor compressão do espaço temporal entre consultas de neuro-reabilitação, criou-se o seguinte diagrama (Figura 19):

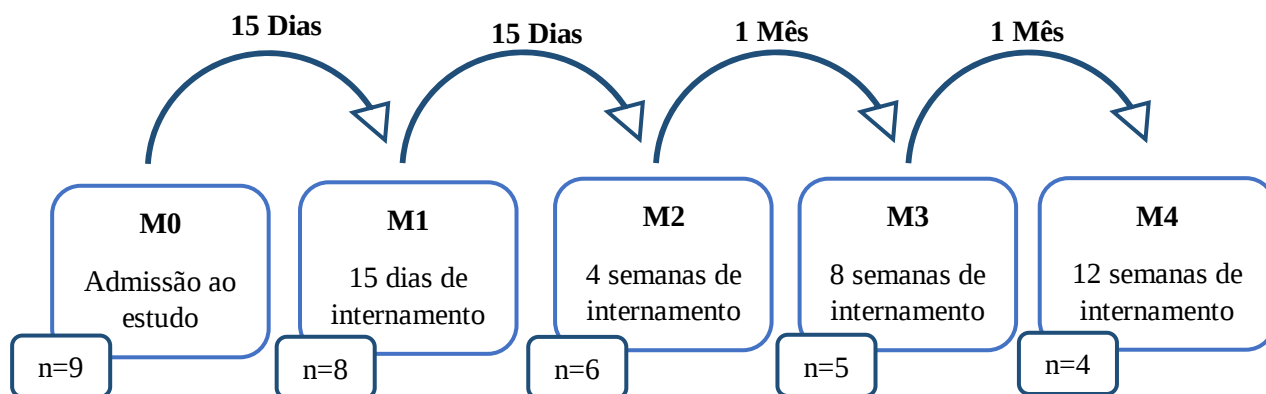


Figura 19: Esquematisação do intervalo temporal entre consultas de neuro-reabilitação.

Em todos os momentos (M0, M1, M2, M3, M4), assim como em todas as reavaliações após alta médica (R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7), os gatos serão avaliados através de:

- Capacidade de estação ativa;
- Capacidade de apresentar reflexo flexor e reflexo extensor cruzado, em decúbito, nos MP;
- Avaliação do tônus a nível do grupo muscular flexor;
- Avaliação do RCT;
- Palpação do tônus do reto abdominal;
- Sensibilidade superficial no períneo, assim como na cauda (base e ponta);
- Sensibilidade à dor profunda nos dígitos medial e lateral;
- Estimulação da marcha em pisos diferentes.

Ambulação entende-se como a capacidade motora que permite executar mais do que 10 passos de ciclo de marcha independentemente do chão, podendo realizar as curvas com maior base de sustentação demonstrando ligeiro agachamento secundário ao enfraquecimento muscular, sem nunca cair e quanto à micção, ocorre em ato automático ou passando a ser suscetível de micção voluntária.

7. Resultados

7.1 Caraterização da amostra

Para o estudo foram seleccionados nove gatos ($n=9$) com lesão medular não compressiva, na região toracolombar (T3-L3), com média de idades de 3.9 anos (mínimo de 9 meses e máximo de 12 anos) e de mediana 3 (Gráfico 1). Dos animais que participaram no estudo, 67% ($n=6$) eram do sexo feminino e 33% ($n=3$) do sexo masculino (Gráfico 2), com pesos que variavam entre mínimo de 2.8 Kg a um máximo de 6 Kg, tendo média de 4.4 Kg e mediana de 2 Kg. Quanto à condição corporal (CC), 89% ($n=8$) dos gatos tinham CC 3 e 11% ($n=1$) tinham CC 6.

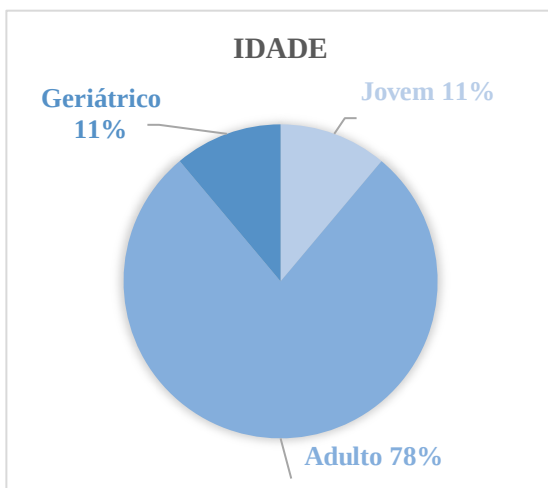


Gráfico 2: Caraterização da amostra ($n=9$) quanto à idade.

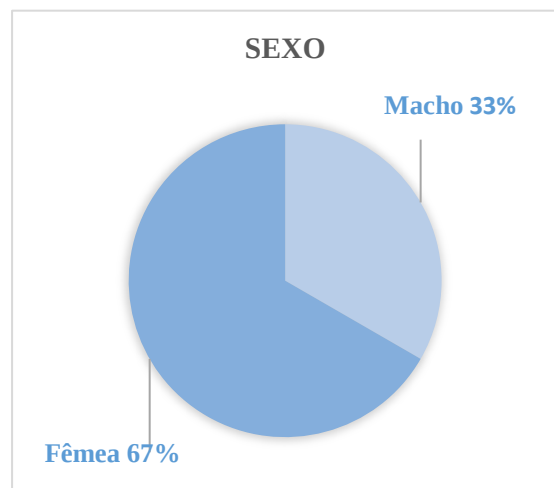


Gráfico 3: Caraterização da amostra ($n=9$) quanto ao sexo.

Na tabela 8 encontram-se descritos os 9 casos clínicos, caraterizados de forma individual quando à idade, sexo, peso e condição corporal.

Sabendo que, de acordo com os critérios de inclusão, a amostra é homogénea (100%, $n=9$) quanto a etiologia de traumatismo, manejo conservativo e bexiga neurogénica à entrada, assim como quanto a classificação de grau 0 segundo a escala de Frankel modificada. Relembrar que o tempo decorrido desde a lesão e a admissão ao estudo, foi sempre > 3 meses.

Tabela 8- Apresentação dos animais incluídos no estudo quando à idade, sexo, peso e condição corporal (CC).

Animal	Idade	Sexo	Peso	CC
I	9 meses	Fêmea	3 Kg	3/6
II	1 ano	Macho	5 kg	3/6
III	4 anos	Macho	4,5 Kg	3/6
IV	12 anos	Fêmea	3 Kg	3/6
V	12 anos	Fêmea	3 Kg	3/6
VI	6 anos	Fêmea	6 Kg	5/6
VII	2 anos	Macho	4 Kg	3/6
VIII	1 ano	Fêmea	3 Kg	3/6
IX	1 ano	Fêmea	2,8 Kg	3/6

Os gatos no presente estudo foram agrupados em categorias de acordo com a idade, sexo, peso, condição corporal, nº de dias de internamento no CRAA e capacidade de micção automática/voluntária. Os gatos foram também categorizados, à entrada e à saída do centro de reabilitação, quanto aos reflexos espinhais periféricos, nomeadamente o reflexo flexor, o Reflexo cutâneo do tronco, o reflexo extensor cruzado, o reflexo patelar, o reflexo de Babinski e a presença de tónus muscular no reto abdominal.

Quanto à categoria da idade, os gatos foram considerados como jovens (<1 ano), adultos (1 a 7 anos) e geriátricos (>8 anos). Na categoria peso, os gatos foram divididos: gatos com peso ≤ 3 Kg e gatos com peso ≥ 4 Kg.

Para a categoria de nº de dias de permanência no CRAA, obtivemos 4 categorias: os que tiveram alta médica ao fim de 2 semanas, 4 semanas, 8 semanas e 12 semanas. Quanto à categoria de classificação do grau neurológico à saída, segundo a EFM, a amostra foi dividida em paraplégicos, locomoção espinhal por reflexos não funcional, locomoção espinhal por reflexos funcional e paraparesico ambulatório e ataxia propriocetiva.

Relativamente à categoria de reflexos espinhais periféricos, para o reflexo flexor à entrada foram criadas 3 categorias: presente, presente diminuído e exagerado. O reflexo flexor à saída, foi classificado como: normal, e exagerado modelado.

Para o RCT à entrada foram criadas três categorias: presente acima da lesão, presente no local da lesão e presente abaixo da lesão. Foram também criadas três categorias para o RCT à saída, presente acima da lesão, presente no local da lesão e presente abaixo da lesão.

Quanto ao reflexo extensor cruzado à entrada foi dividido em presente, diminuído e ausente. O reflexo extensor cruzado à saída foi categorizado como normal/modelado com o reflexo flexor e diminuído.

Para o reflexo patelar à entrada foram criadas três categorias: presente, clónico e ausente. À saída foi dividido em: clónico fraco, presente e diminuído.

Em relação ao reflexo de Babinski à entrada, foram criadas duas categorias: presente e ausente. O reflexo de Babinski à saída foi dividido em: ausente e diminuído.

Quanto à presença de tónus muscular no reto abdominal à entrada foi categorizado em normal e diminuído. À saída foi classificado como normal e diminuído.

Para o grau neurológico com estimulação à entrada e com suporte de peso foram criadas duas categorias: sem padrão locomotor flexão/extensão e com padrão locomotor flexão/extensão. À saída, para o grau neurológico com estimulação e com suporte de peso, foram criadas as mesmas duas categorias.

Na categoria de suspeita de “conexões superiores” à entrada esta foi constante, tendo sido ausente quanto à SS no períneo e na cauda. Já na mesma categoria, à saída do estudo, para a cauda e para o períneo, podem ser classificados como: ausente e positiva. Considerando sempre positiva a suspeita de conexões superiores à saída, mesmo estando só presente a sensibilidade à dor superficial numa região anatómica.

A categoria de suspeita de conexões superiores indica, portanto, que os gatos terão que apresentar sensibilidade superficial na cauda (base e/ou ponta) e no períneo, tendo presente que basta uma região anatómica para que a suspeita de conexões seja positiva.

No que diz respeito à sensibilidade à dor profunda, à entrada, esta foi constante, enquanto que à saída, na região anatómica dos dígitos, permitiu dividir os gatos em ausente e presente/duvidoso.

Quanto à categoria ambulação, à entrada foi uma constante, estando sempre ausente. Já à saída, a população foi dividida em 2 categorias: presente e ausente.

7.2 Análise estatística

Na amostra de gatos, quanto ao reflexo flexor à entrada (tabela 7) 44% (n=4) apresentaram o reflexo flexor presente bilateral e, na mesma proporção, apresentaram reflexo flexor diminuído, estando apenas um gato com reflexo flexor exagerado. À saída (tabela 9), 89% (n=8) dos gatos apresentaram reflexo flexor normal e, apenas 1 gato (11%) apresentou o reflexo flexor de exagerado para modelado.

No que diz respeito ao RCT, à entrada, 56% (n=5) apresentavam o RCT no local da lesão, 33% (n=3) dos gatos exibiram RCT acima da lesão, havendo apenas 1 gato que apresentou o RCT abaixo da lesão. Após o PNRI, 56% (n=5) dos gatos demonstraram o RCT abaixo do local da lesão, 33% (n=3) dos gatos apresentaram o RCT no local da lesão, e apenas 1 gato não demonstrou sinais de evolução neurológica, mantendo o RCT acima da lesão.

Em relação ao reflexo extensor cruzado (REC) à entrada, 56% (n=5) dos gatos mostraram o REC presente bilateral, 33% (n=3) apresentaram o REC diminuído e 1 gato apresentou o REC ausente. Na saída, 67% (n=6) dos gatos apresentaram o REC normal, modelado com reflexo flexor e 33% (n=3) dos gatos apresentaram o REC diminuído.

Já quanto ao reflexo patelar à entrada, 44% (n=4) dos gatos apresentaram o RP clónico, 33% (n=3) exibiram um RP presente e 22% (n=2) tinham ausência do RP. O RP à saída apresentava-se presente em 44% (n=4) dos gatos, clónico fraco em 44% (n=4) dos gatos e 1 gato apresentou o RP presente diminuído.

Para o reflexo de Babinski à entrada, 89% (n=8) dos gatos apresentavam o RB ausente e apenas 1 gato exibiu RB. Após o PNRI, a amostra revelou a mesma proporção estatística e 1 gato apresentou o RB mais diminuído.

Quanto ao tónus do reto abdominal à entrada, 78% (n=7) dos gatos apresentavam o TRA diminuído, e 2 gatos (22%) apresentaram o TRA normal. Após o PNRI, 78% (n=7) dos gatos apresentaram tónus normal, e 2 gatos (22%) diminuído.

Tabela 9- Classificação dos reflexos espinhais periféricos e do tónus muscular do reto abdominal, após a aplicação do PNRI (alta médica).

Animal	RF	RCT	REC	RP	RB	TRA
I	Normal	Presente abaixo da lesão	Normal/ Modelado com reflexo flexor	Clónico fraco	Ausente	Normal
II	Exagerado modelado	Presente no local da lesão	Normal/ Modelado com reflexo flexor	Clónico fraco	Ausente	Normal
III	Normal	Presente abaixo da lesão	Normal/ Modelado com reflexo flexor	Clónico fraco	Ausente	Normal
IV	Normal	Presente abaixo da lesão	Normal/ Modelado com reflexo flexor	Clónico fraco	Ausente	Normal
V	Normal	Presente abaixo da lesão	Normal/ Modelado com reflexo flexor	Presente	Ausente	Normal
VI	Normal	Presente abaixo da lesão	Normal/ Modelado com reflexo flexor	Presente	Diminuído	Normal
VII	Normal	Presente no local da lesão	Diminuído	Presente	Ausente	Normal
VIII	Normal	Presente no local da lesão	Diminuído	Presente	Ausente	Diminuído
IX	Normal	Presente acima da lesão	Diminuído	Presente Diminuído	Ausente	Diminuído

Quanto ao grau neurológico (tabela 10) à entrada, 100% (n=9) dos gatos encontravam-se paraplégicos, enquanto que, após serem submetidos ao PNRI, 44% (n=4) dos gatos apresentavam locomoção espinhal por reflexos funcional, ou seja, ambulação, 22%

RF- Reflexo flexor; RCT- Reflexo cutâneo do tronco; REC- Reflexo extensor cruzado; RP- Reflexo patelar; RB- Reflexo Babinski; TRA- Tónus do reto abdominal.

(n=2) apresentavam locomoção espinhal por reflexos não funcional, 2 gatos (22%) permaneceram paraplégicos e 11% (n=1) encontrava-se paraparésico ambulatorio com ataxia propriocetiva.

Quanto à capacidade de ambulação, 56% (n=5) obtiveram a ambulação e 44% (n=4) ficaram não ambulatorios.

Tabela 10- Capacidade de ambulação no final do estudo.

Grau neurológico à entrada		Grau neurológico à saída
I	Paraplégico	Locomoção espinhal por reflexos funcional
II	Paraplégico	Locomoção espinhal por reflexos não funcional
III	Paraplégico	Locomoção espinhal por reflexos funcional
IV	Paraplégico	Locomoção espinhal por reflexos funcional
V	Paraplégico	Paraparesico ambulatorio com ataxia propriocetiva
VI	Paraplégico	Locomoção espinhal por reflexos funcional
VII	Paraplégico	Locomoção espinhal por reflexos não funcional
VIII	Paraplégico	Paraplégico
IX	Paraplégico	Paraplégico

Quanto à capacidade de estimulação do períneo/ponta da cauda à entrada, demonstrando padrão locomotor de flexão/extensão, 78% (n=7) dos gatos encontravam-se sem padrão locomotor flexor/extensor e 22% (n=2) apresentaram-se com o padrão locomotor flexor/extensor. Quanto à capacidade de suporte de peso, à entrada foi considerada como ausente, pois o reabilitador efetuou 100% do suporte de peso dos gatos.

Após o PNRI, 56% (n=5) demonstraram automaticidade quanto à capacidade de estação e de marcha, não sendo necessário a avaliação da capacidade de estimulação do períneo e ponta da cauda, assim como, a capacidade de suporte de peso. Nas mesmas categorias, 22% (n=2) demonstraram automaticidade reduzida, considerados não ambulatorios e quando mostravam tentativa de marcha exibiam *knuckling* e 22% (n=2) em

ambas as categorias, não evoluíram neurologicamente, mantendo-se no grau 0 segundo a EFM, embora apresentassem alguns reflexos espinhais periféricos presentes, como o reflexo patelar.

Na categoria de suspeitas de conexões superiores indicativo de alguma remodelação quanto à sensibilidade à dor (profunda e superficial), à entrada, a amostra distribuiu-se em 100% quanto à ausência de sensibilidade à dor profunda dos dígitos dos membros pélvicos e quanto à sensibilidade à dor superficial na cauda e na região perineal.

Quanto aos sinais de remodelação neural espontânea ou influenciados pelo próprio PNRI, a sensibilidade à dor profunda, à saída, continuou ausente em 89% (n=8) dos gatos e, em apenas 1, o teste à sensibilidade à dor profunda demonstrou sinais clínicos de dor, embora de forma lenta, tendo sido ligeira agressividade associada a estado de consciência e demonstrado pelo revirar da cabeça.

Já quanto à suspeita de conexões superiores, à saída, 56% (5/9) da amostra não apresentou possíveis conexões superiores com o circuito intrínseco de interneurónios motores e GPC, mas em 44% (4/9) foi evidente a remodelação quanto à sensibilidade superficial, pois 3 gatos apresentavam dor superficial na ponta da cauda e base, tendo 2 gatos demonstrado sensibilidade à dor superficial no períneo e mais 1 gato apresentou dor superficial exclusiva no períneo. Apenas 1 gato recuperou a sensibilidade à dor profunda, embora na comparação da dor profunda dos membros torácicos, a dos membros pélvicos demonstrou uma reação mais lenta.

7.3 Comparação dos resultados obtidos

Os resultados do presente estudo encontram-se esquematizados na Figura 20.

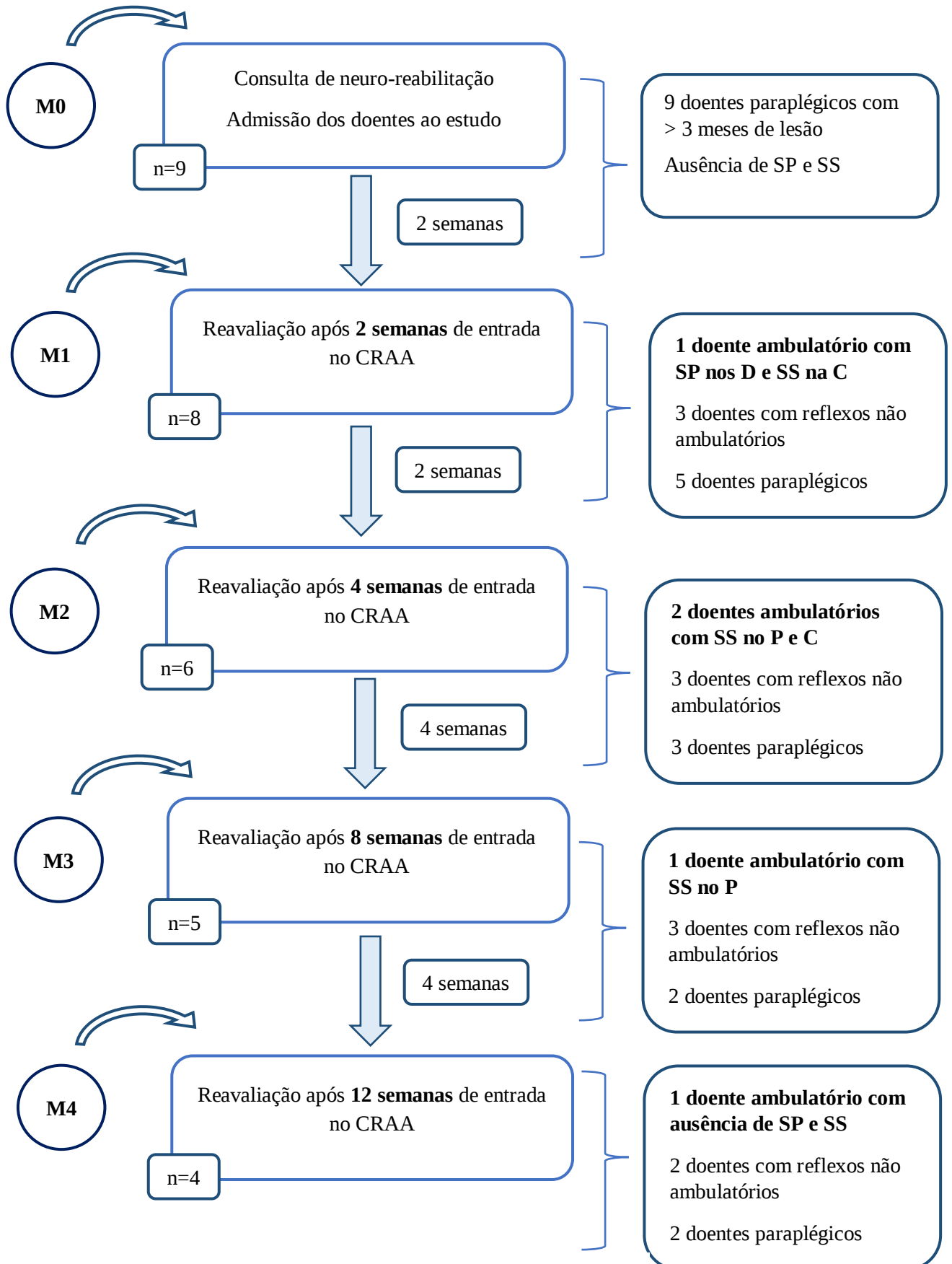


Figura 20: Algoritmo da progressão dos doentes no estudo. SP: Sensibilidade Profunda; SS: Sensibilidade Superficial; P: Períneo; C: Cauda; D: Dígito

Na consulta de neurorreabilitação foram admitidos para o estudo 9 gatos, todos com grau neurológico de paraplegia, de grau 0 na EFM e compatíveis com ausência de suspeita de conexões aos centros superiores.

Após 15 dias (M1) do início do PNRI, 1 gato apresentava estação ativa e ambulação funcional, recuperando a sensibilidade à dor profunda nos dígitos e, simultaneamente, à dor superficial na cauda, sendo assim retirado do estudo, uma vez que foi atingida a ambulação. Este gato tolerou o protocolo de electroestimulação, bem como o treino locomotor quadrúpede, embora não tenha realizado treino locomotor no tapete rolante aquático, pois o doente não se ambientou ao meio aquático. Na alta médica, o gato apresentava micção intermitentemente automática/voluntária.

Dos 8 gatos que permaneceram no estudo (n=8), 3 mostraram-se com padrão extensor/flexor, ou seja, não ambulatorios e 5 gatos encontravam-se paraplégicos, não tendo evoluindo neurologicamente, quanto ao sentido da ambulação.

No M2, no **final de 4 semanas** do PNRI, 2 gatos apresentavam-se ambulatorios, com presença de sensibilidade superficial na cauda e na região do períneo, mostrando, também, micção intermitentemente automática/voluntária. Ambos os gatos realizaram treino locomotor terrestre, em primeiro lugar, bípede evoluindo para quadrúpede ao longo do tempo, para além do ocorrido os gatos toleraram o treino locomotor aquático. Assim como, a associação com o protocolo de electroestimulação.

Três gatos apresentavam-se com reflexos mais modelados, mas não ambulatorios, mostrando sinais de evolução neurológica, permanecendo em regime de internamento a realizar o PNRI, mas 3 gatos permaneceram paraplégicos.

No M3, **ao fim de 8 semanas** do PNRI, 1 gato apresentou ambulação, mostrando sinais de sensibilidade superficial na região do períneo, tendo efetuado electroestimulação, assim com treino locomotor quadrúpede no tapete rolante terrestre e, simultaneamente treino locomotor no tapete rolante aquático, embora bípede numa fase inicial, passando para quadrúpede ao longo da permanência no CRAA. Este gato recuperou a micção automática/voluntária.

Três gatos mostraram padrão locomotor flexor/extensor, ou seja, não ambulatorios e 2 gatos permaneceram paraplégicos, quanto ao sentido de ambulação.

No M4 e **após 12 semanas** do PNRI, 1 gato com ausência de dor profunda e, portanto, grau 0 na EFM, assim como ausência de dor superficial, ou seja, sem suspeita de conexões com os centros supraespinhais, apresentou locomoção espinhal por reflexos funcional. Este gato não tolerou o protocolo de electroestimulação, tendo realizado treino locomotor no tapete rolante terrestre, assim como no tapete rolante aquático, bípede numa fase inicial evoluindo para quadrúpede. Este gato teve alta médica, apresentando bexiga neurogénica.

Dos restantes 4 gatos, 2 apresentaram-se padrão locomotor de flexão/extensão não ambulatoriais com bexiga neurogénica, 2 gatos permaneceram paraplégicos, apresentando reflexo flexor e REC diminuído. Ambos os gatos não demonstraram sensibilidade à dor superficial, nem à dor profunda, tendo tolerado o protocolo de electroestimulação, assim como realizado o treino locomotor no tapete rolante terrestre e aquático, embora o treino locomotor no tapete rolante aquático tenha sido tolerado apenas por um dos gatos. Ambos os gatos desenvolveram incontinência urinária.

De modo a compreender o tipo de treino locomotor executado pelos gatos realizou-se a tabela 11.

Tabela 11- Treino locomotor realizado pelos diferentes gatos.

Treino locomotor		
Animal	Terrestre	Aquático
I	Bípede (15 dias) e depois quadrúpede	Bípede (15 dias) e depois quadrúpede
II	Bípede	Não tolerado
III	Bípede (15 dias) e depois quadrúpede	Bípede (15 dias) e depois quadrúpede
IV	Bípede (15 dias) e depois quadrúpede	Bípede (7 dias) e depois quadrúpede
V	Quadrúpede	Não tolerado
VI	Quadrúpede	Bípede (15 dias) e depois quadrúpede
VII	Bípede (15 dias) e depois quadrúpede	Não tolerado

VIII	Bípede (15 dias) e depois quadrúpede	Não tolerado
IX	Bípede	Bípede

No estudo, 78% (n=7) iniciaram o treino locomotor com a modalidade bípede, embora em 56% (n=5) esta foi continuada pela versão quadrúpede. 44% (n=4) dos gatos não toleraram o treino locomotor em tapete rolante aquático.

Na consulta de reavaliação (R1), 56% dos gatos (n=5) que realizaram o PNRI adquiriram ambulação, 44% (n=4) dos quais mostraram sinais compatíveis com conexões aos centros superiores, havendo apenas um que não demonstrou sensibilidade à dor profunda nem superficial. Todos estes casos recuperaram a micção voluntária. Em dois casos com padrão locomotor flexão/extensão, houve modelação dos reflexos, apresentando *knuckling* quando na presença de estimulação da marcha, embora não tenham adquirido capacidade de estação ativa e por sua vez, locomoção espinhal por reflexos funcional. Estes gatos apenas recuperaram a micção voluntária 2 meses após o final do PNRI.

Em R1, os 9 gatos compareceram e 56% (n=5) adquiriram ambulação, embora 1 gato não apresentasse sinais compatíveis com conexões superiores. Os outros gatos apresentaram exame de neurorreabilitação sem alterações a registar.

Em R2 os 9 gatos compareceram. Nos 56% que apresentaram ambulação nada a registar. Mas nos 2 gatos com padrão locomotor flexão/extensão, houve modelação dos reflexos e, com suporte de peso, apresentaram marcha, mas grande parte do tempo em *knuckling*. Os outros 2 gatos continuaram iguais, com bexiga neurogénica de difícil expressão, mas sem evolução a nível neurológico.

Em R3, compareceram os 9 gatos e 1 gato paraplégico foi eutanasiado, pois apresentava, assim como segundo gato paraplégico, incontinência urinária. Os restantes não apresentaram diferenças no seu exame de neurorreabilitação funcional.

Em R4, compareceram apenas 5 gatos, todos ambulatorios como antes. Um apresentava-se melhor em relação à ataxia propriocetiva, 3 mantiveram a SS mas não recuperaram a SP, 1 manteve-se sem SS e sem SP. Os restantes não compareceram.

No R5, R6 e R7 apenas compareceu o gato com ambulação, mas com ausência de sinais de conexão supraespinhal. Ao longo do tempo adquiriu a capacidade de subir e descer escadas, assim como camas e sofás.

8. Discussão

No presente estudo prospetivo em gatos com lesão medular crónica pretendeu-se realizar uma correlação entre a evolução neurológica, ao longo de 2 a 3 meses de PNRI e o estado ambulatorio adquirido no final do estudo, ainda foi possível encontrar relação em âmbito clínico com os diversos tipos de treino locomotor e grau neurológico à saída do estudo.

No estudo, os 9 gatos são doentes de mielopatias não compressivas, de etiologia traumática, apenas com lesão na medula espinhal. Estes gatos encontram-se no estudo em estado crónico, com mais de 3 meses após a lesão, portanto a evolução neural segundo o estado temporal vai ter maior explicação pela ação dos PNRI do que pela ação espontânea pois, nesta fase a recuperação neurológica atinge um período de *plateau* (Burns *et al.*, 2012; Burns *et al.*, 2017; Fawcett *et al.*, 2007). A estimulação através dos PNRI ocorre no estudo durante 3 meses, pois o *plateau* indicativo de recuperação motora ocorre entre 2 a 3 meses (Barbeau and Rossignol, 1987; Edgerton *et al.*, 1997; Lovely *et al.*, 1986). Possível justificação para a recuperação dos 44% (n=4) dos doentes, no máximo até 8 semanas.

Após lesão da medula espinhal, tanto no Homem como no gato, a recuperação espontânea é observada mesmo sem reabilitação funcional, associada a terapêutica farmacológica, principalmente em lesões agudas e sub-agudas. A ação da reabilitação funcional pode ser explicada pelos mesmos mecanismos celulares que ocorrem na remodelação espontânea (Rossignol & Bouyer, 2004; Côté, 2003; de Leon *et al.* 1999b), sendo deste modo de difícil separação, quanto a sinais clínicos, indicativos dos efeitos de recuperação neural ao longo do tempo, principalmente devido à ação do treino de reabilitação (Fouad & Tetzlaff, 2012), pois este tem um papel fundamental na reorganização, modelação e memorização neural (Barbeau and Rossignol, 1987; Murakami *et al.*, 1992; Lovely *et al.*, 1986).

A grande evolução quanto aos treinos de reabilitação funcional, após lesão da medula espinhal, foi baseada nos estudos em gatos quanto ao controlo locomotor. Nestes estudos produziu-se experimentalmente uma parálise dos membros pélvicos (grau 0 na EFM) por secção total da medula espinhal, tendo-se demonstrado uma recuperação motora por meio

de reflexos periféricos através do treino locomotor, surgindo o conceito de *network* neural (Forssberg 1980a; 1980b). O conceito de *network* neural é referido ao circuito de interneurónios motores associados a neurónios motores com propriedades rítmicas, ou seja, os GPC (Rossignol & Frigon, 2011; Frigon, 2012; MacKay-Lyons, 2002).

Os doentes crónicos do estudo atingiram a ambulação em 56% (n=5), e destes, 44% (n=4) através da locomoção espinhal por reflexos funcional e 1 gato por recuperação da SP. Esta recuperação vem ao encontro da importância do treino locomotor, pois foi verificado por eletromiografia, que a capacidade de contração dos músculos dos membros pélvicos são similares, antes e depois da secção total da medula espinhal do gato, após estimulação da marcha no tapete rolante terrestre (Belanger *et al.* 1996). A ação do tapete rolante terrestre vai permitir a estimulação das vias aferentes por recetores, localizados nos músculos (fibras intrafusais), nas articulações (terminações nervosas) e na pele. Este tipo de estimulação permite uma interação dinâmica com o circuito dos GPC (Rossignol *et al.*, 2006; MacKay-Lyons, 2002; Roy *et al.*, 2012), e os estímulos neurais cutâneos da região dos dígitos estimulam a expressão da locomoção por reflexos, considerando que ao fim de 4 semanas já se deve observar a reorganização neural, após a utilização do treino locomotor no tapete rolante terrestre (Barbeau and Rossignol, 1987; Rossignol *et al.*, 2014; Rossignol *et al.*, 2002).

No gato que tem alta médica ao fim de 2 semanas de PNRI ocorreu uma recuperação principalmente devido aos feixes descendentes motores. Já os outros 3 gatos, a locomoção por reflexos espinhais dependeu unicamente dos GPC associado a estímulos sensoriais ascendentes periféricos e a informação de possíveis feixes descendentes motores residuais. Contudo 1 gato obtém a mesma ambulação sem possível visualização de sinais de conexão superiores (Rossignol & Frigon, 2011). É sabido que o ritmo criado pelos GPC depende dos segmentos medulares L3-L4 (Brocard *et al.* 2010; Deliagina *et al.*, 1983; Delivet-Mongrain *et al.*, 2008; Rossignol & Frigon, 2011).

No estudo, para obter um padrão rítmico em relação ao ciclo do passo, os doentes foram estimulados na região anatómica do períneo (Rossignol & Bouyer, 2004; Frigon, 2012; Belanger *et al.*, 1996), e na ponta da cauda (Frigon, 2012). Durante o exercício são ativados vários componentes interligados, necessários para obter uma correta locomoção (Rossignol & Frigon, 2011). Sabemos que os grupos musculares são excitados (por via glutamatérgica)

ou inibidos (por via glicinérgica) por *inputs* neurais que dependem da fase locomotora em que o ciclo do passo se encontra, tendo a locomoção por reflexos espinhais um padrão locomotor extensor-dominante (Edgerton *et al.*, 2001; Frigon 2012; Frigon & Gossard, 2009). Para Frigon (2012), as transições e a duração das fases do ciclo da marcha dependem dos *networks*, dos impulsos neurais provenientes de estruturas supraespinhais e dos mecanorreceptores periféricos.

Atualmente, sabe-se que os gatos conseguem efetuar um padrão locomotor com os membros pélvicos no tapete rolante terrestre após secção medular, numa fase inicial o gato pode ser estimulado na região perineal e ponta da cauda de forma a induzir o passo (Rossignol *et al.*, 2002). Sabemos ainda que a intensidade do treino locomotor no tapete rolante terrestre tem efeitos importantes no ato de recuperação neurológica. Sendo considerado como treino locomotor que permite plasticidade neural o que é efetuado durante 30 a 60 minutos (Roy *et al.*, 2012; Rossignol & Bouyer, 2004), estando de acordo com o PNRI do presente estudo. O treino no tapete rolante terrestre parece ter um papel na neuro plasticidade sináptica no sentido da neuro remodelação (Edgerton *et al.*, 2001; Martinez *et al.*, 2012).

De modo a obter o equilíbrio entre a excitação e a inibição, são utilizadas todas as ferramentas possíveis, tais como: na passagem de um obstáculo ocorre a estimulação dos recetores localizados na região dorsal distal do membro do gato que vão permitir a excitação do grupo muscular flexor do membro ipsilateral, quando executa a fase de protração, assim como, com o mesmo estímulo podem excitar os músculos extensores necessários para obter a fase postural do ciclo do passo (Forssberg, 1979). Um exemplo do explicado anteriormente foi a estimulação com os exercícios de passagem de obstáculos, como os *cavaletis rails*, sendo estes exercícios de cinesioterapia ativos assistidos e/ou ativos, pertencentes ao treino locomotor (Mccrea, 2001). No PNRI estão incluídos os exercícios referidos anteriormente.

O gato que recupera a SP demonstrou uma progressão rápida conquistadora da ambulação, estando de acordo com a indicação que a SP é considerada um fator de prognóstico favorável (Aikawa, 2004; Olby, *et al.*, 2004; Olby, *et al.*, 2020; Lewis, *et al.*, 2020).

No estudo, 3 gatos obtiveram a ambulação até às 8 semanas de PNRI, tendo sido estes os que recuperaram a sensibilidade superficial e/ou no períneo e base e/ou ponta da cauda,

demonstrando uma tendência para a importância da conexão entre as estruturas supraespinhais e os *networks* neurais. Estes doentes oferecem sinais clínicos de possível regeneração do epicentro da lesão medular, pois alguns axónios podem surgir a nível colateral e permitir conexões alternativas (Fouad & Tetzlaff, 2012; Weidner *et al.*, 2001). Para além do referido, segmentos da medula espinhal do gato permitem interconectar por feixes mais curtos ou mais longos, ou seja, o feixe proprioespinal (Rossignol & Frigon, 2011).

O tipo de treino locomotor efetuado no estudo pode estar correlacionado com a libertação de neurotrofinas, principalmente o fator neurotrófico derivado do cérebro (BDNF) que tem sido indicado como o fator de crescimento que estimula a plasticidade sináptica e a excitabilidade neural (Arancio & Chao, 2007; Vavrek *et al.*, 2006; Boyce *et al.* 2007), indica que o BDNF mais a neurotrofina-3 (NT-3) expressam fibroblastos na região caudal à completa secção da medula espinhal nos gatos. Para além disto, este fator aumenta os níveis de cAMP que ativa múltiplas vias que têm sido relatadas na regeneração axional. Pensa-se ainda, que os níveis elevados de cAMP e de proteína cinase A (PKA), depois do treino locomotor, permitam uma ativação que pode envolver os canais de voltagem de cálcio (Rossignol & Frigon, 2011).

No estudo, a recuperação dos reflexos espinhais periféricos, assim como do padrão locomotor de flexão/extensão modelado e do tónus reto abdominal estão presentes nos 5 gatos que atingiram a ambulação, pois recuperaram o controlo neural através da automaticidade dos GPC modelados pelos *inputs* neurais dos residuais feixes descendentes que conseguem modelar os neurónios motores para as diferentes fases do ciclo da marcha (Roy *et al.*, 2012).

O treino locomotor, no tapete rolante terrestre e no tapete rolante aquático, assim como os protocolos de electroestimulação, são uma alternativa segura a qualquer doente do foro neurológico.

Como limitações do estudo anotamos o número reduzido da amostra populacional e a dificuldade de estimular os gatos no tapete rolante terrestre e no aquático. Como se verificou, alguns gatos não se adaptaram ao meio aquático, o que pode atrasar a recuperação neurológica. Por outro lado, a inexistência de escala sobre a recuperação motora e os níveis de evolução neurológica para o gato, dificulta a avaliação da marcha nos gatos.

9. Conclusão

A neuroreabilitação funcional permite ajudar na reorganização neural, estimulando em doentes com sensibilidade à dor profunda, uma recuperação relativamente rápida (em comparação com uma recuperação espontânea) e produzindo menos erros de compensação, ou mesmo desvios para vias de dor neuropática ou mal adaptativa, como por exemplo, o aparecimento do sinal clínico de espasticidade.

O presente estudo demonstra a importância da neuroreabilitação funcional de abordagem intensiva e baseada em repetições, essencial e primordial para doentes classificados em grau 0 segundo a EFM. No estudo a população são gatos de apresentação crónica que conseguiram recuperar a ambulação em cerca de 56% (n=5), 1 com recuperação da sensibilidade à dor profunda e 4 com locomoção espinhal por reflexos funcional.

Deste modo, conclui-se que os protocolos de neuroreabilitação funcional intensivos são seguros e têm a capacidade de permitir um grau neurológico positivo quanto à independência e à qualidade de bem-estar. Seria de interesse clínico a continuação do estudo, pois o próprio pode induzir a redução no número de eutanásias.

Referências Bibliográficas

- Arancio, O., & Chao, M. V. (2007). Neurotrophins, synaptic plasticity and dementia. *Current opinion in neurobiology*, 17(3), 325–330. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2007.03.013>
- Aikawa, T., Shibata, M., Asano, M., Hara, Y., Tagawa, M., & Orima, H. (2014). A comparison of thoracolumbar intervertebral disc extrusion in French Bulldogs and Dachshunds and association with congenital vertebral anomalies. *Veterinary surgery: VS*, 43(3), 301–307. <https://doi.org/10.1111/j.1532-950X.2014.12102.x>
- Barbeau, H., & Rossignol, S. (1987). Recovery of locomotion after chronic spinalization in the adult cat. In *Brain Research* (Vol. 412).
- Barbeau, H., & Rossignol, S. (1991). Initiation and modulation of the locomotor pattern in the adult chronic spinal cat by noradrenergic, serotonergic and dopaminergic drugs. *Brain research*, 546(2), 250–260. [https://doi.org/10.1016/0006-8993\(91\)91489-n](https://doi.org/10.1016/0006-8993(91)91489-n)
- Barbeau, H., Chau, C., & Rossignol, S. (1993). Noradrenergic agonists and locomotor training affect locomotor recovery after cord transection in adult cats. *Brain research bulletin*, 30(3-4), 387–393. [https://doi.org/10.1016/0361-9230\(93\)90270-l](https://doi.org/10.1016/0361-9230(93)90270-l)
- Belanger, M., Drew, T., Provencher, J., & Rossignol, S. (1996). A Comparison of Treadmill Locomotion in Adult Cats Before and After Spinal Transection. In *Journal of Neurophysiology* (Vol. 76, Issue 1). www.physiology.org/journal/jn
- Boyce, V. S., Tumolo, M., Fischer, I., Murray, M., & Lemay, M. A. (2007). Neurotrophic factors promote and enhance locomotor recovery in untrained spinalized cats. *Journal of neurophysiology*, 98(4), 1988–1996. <https://doi.org/10.1152/jn.00391.2007>
- Brocard, F., Tazerart, S., & Vinay, L. (2010). Do pacemakers drive the central pattern generator for locomotion in mammals? In *Neuroscientist* (Vol. 16, Issue 2, pp. 139–155). <https://doi.org/10.1177/1073858409346339>
- Brownstone, R. M., Gossard, J.-P., & Hultborn, H. (1994). Voltage-dependent excitation of motoneurons from spinal locomotor centres in the cat. *Exp Brain Res.*, 102(1), 34–44.
- Bullock, T. H. (1961). The origins of patterned nervous discharge. *Behaviour*, 17, 48–59. <https://doi.org/10.1163/156853961X00358>

- Burns, A. S., Marino, R. J., Flanders, A. E., & Flett, H. (2012). Clinical diagnosis and prognosis following spinal cord injury. In *Handbook of Clinical Neurology* (Vol. 109, pp. 47–62). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-52137-8.00003-6>
- Burns, A. S., Marino, R. J., Kalsi-Ryan, S., Middleton, J. W., Tetreault, L. A., Dettori, J. R., Mihalovich, K. E., & Fehlings, M. G. (2017). Type and Timing of Rehabilitation Following Acute and Subacute Spinal Cord Injury: A Systematic Review. *Global spine journal*, 7(3 Suppl), 175S–194S. <https://doi.org/10.1177/2192568217703084>
- Côté, M. P., Ménard, A., & Gossard, J. P. (2003). Spinal cats on the treadmill: changes in load pathways. *The Journal of neuroscience: the official journal of the Society for Neuroscience*, 23(7), 2789–2796. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.23-07-02789.2003>
- Delivet-Mongrain, H., Leblond, H., & Rossignol, S. (2008). Effects of localized intraspinal injections of a noradrenergic blocker on locomotion of high decerebrate cats. *Journal of neurophysiology*, 100(2), 907–921. <https://doi.org/10.1152/jn.90454.2008>
- Delivet-Mongrain, H., Dea, M., Gossard, J.-P., & Rossignol, S. (2020). Recovery of locomotion in cats after severe contusion of the low thoracic spinal cord. *J Neurophysiol*, 123, 1504–1525. <https://doi.org/10.1152/jn.00498.2019>
- Deliagina, T. G., Orlovsky, G. N., & Pavlova, G. A. (1983). The capacity for generation of rhythmic oscillations is distributed in the lumbosacral spinal cord of the cat. *Experimental brain research*, 53(1), 81–90. <https://doi.org/10.1007/BF00239400>
- de Leon, R. D., Hodgson, J. A., Roy, R. R., & Edgerton, V. R. (1998). Locomotor capacity attributable to step training versus spontaneous recovery after spinalization in adult cats. *Journal of neurophysiology*, 79(3), 1329–1340. <https://doi.org/10.1152/jn.1998.79.3.1329>
- de Leon, R. D., Tamaki, H., Hodgson, J. A., Roy, R. R., Edgerton, V. R., & Leon, D. (1999a). Hindlimb Locomotor and Postural Training Modulates Glycinergic Inhibition in the Spinal Cord of the Adult Spinal Cat. *J. Neurophysiol.*, 82, 359–369.
- De Leon, R. D., Hodgson, J. A., Roy, R. R., & Edgerton, V. R. (1999b). Retention of hindlimb stepping ability in adult spinal cats after the cessation of step training. *Journal of neurophysiology*, 81(1), 85–94. <https://doi.org/10.1152/jn.1999.81.1.85>

- DeLahunta, A., & Glass, E. (2009). *Veterinary neuroanatomy and clinical neurology*. Saunders Elsevier.
- Dewey, C., & da Costa, R. (2016). *Practical Guide to Canine and Feline Neurology* (3rd ed.). Wiley-Blackwell.
- Edgerton, R., de Leon, R., Harkema, S., Hodgson, J., London, N., Reinkensmeyer, D., Roy, R., Talmadge, R., Tillakaratne, N., Timoszyk, W., & Tobin, A. (2001). Retraining the injured spinal cord. *Journal of Physiology*, 533(1), 15–22.
- Edgerton, V. R., Roy, R. R., Hodgson, J. A., Prober, R. J., de Guzman, C. P., & de Leon, R. (1991). A physiological basis for the development of rehabilitative strategies for spinally injured patients. *The Journal of the American Paraplegia Society*, 14(4), 150–157. <https://doi.org/10.1080/01952307.1991.11735848>
- Edgerton, V. R., de Leon, R. D., Tillakaratne, N., Recktenwald, M. R., Hodgson, J. A., & Roy, R. R. (1997). Use-dependent plasticity in spinal stepping and standing. *Advances in neurology*, 72, 233–247.
- Fawcett, J. W., Curt, A., Steeves, J. D., Coleman, W. P., Tuszynski, M. H., Lammertse, D., Bartlett, P. F., Blight, A. R., Dietz, V., Ditunno, J., Dobkin, B. H., Havton, L. A., Ellaway, P. H., Fehlings, M. G., Privat, A., Grossman, R., Guest, J. D., Kleitman, N., Nakamura, M., Gaviria, M., ... Short, D. (2007). Guidelines for the conduct of clinical trials for spinal cord injury as developed by the ICCP panel: spontaneous recovery after spinal cord injury and statistical power needed for therapeutic clinical trials. *Spinal cord*, 45(3), 190–205. <https://doi.org/10.1038/sj.sc.3102007>
- Fouad, K., & Tetzlaff, W. (2012). Rehabilitative training and plasticity following spinal cord injury. *Experimental neurology*, 235(1), 91–99.
- Forssberg, H., & Grillner, S. (1973). The locomotion of the acute spinal cat injected with clonidine i.v. *Brain research*, 50(1), 184–186. [https://doi.org/10.1016/0006-8993\(73\)90606-9](https://doi.org/10.1016/0006-8993(73)90606-9)
- Forssberg H. (1979). Stumbling corrective reaction: a phase-dependent compensatory reaction during locomotion. *Journal of neurophysiology*, 42(4), 936–953. <https://doi.org/10.1152/jn.1979.42.4.936>

- Forssberg, H., Grillner, S., & Halbertsma, J. (1980a). The locomotion of the low spinal cat I. Coordination within a hindlimb. *Acta Physiologica Scandinavica*, 108(3), 269–281. <https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.1980.tb06533.x>
- Forssberg, H., Grillner, S., Halbertsma, J., & Rossignol, S. (1980b). The locomotion of the low spinal cat. II. Interlimb coordination. *Acta Physiologica Scandinavica*, 108(3), 283–295. <https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.1980.tb06534.x>
- Frigon, A., & Gossard, J. P. (2009). Asymmetric control of cycle period by the spinal locomotor rhythm generator in the adult cat. *The Journal of physiology*, 587(Pt 19), 4617–4628. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2009.176669>
- Frigon, A. (2012). Central pattern generators of the mammalian spinal cord. In *Neuroscientist* (Vol. 18, Issue 1, pp. 56–69). <https://doi.org/10.1177/1073858410396101>
- Hultborn, H., Denton, M. E., Wienecke, J., & Nielsen, J. B. (2003). Variable amplification of synaptic input to cat spinal motoneurons by dendritic persistent inward current. *Journal of Physiology*, 552(3), 945–952. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2003.050971>
- Jaggy, A., & Platt, S. (2010). *Small Animal Neurology An Illustrated Text*. Schlütersche
- Lorenz, M., Coates, J., & Kent, M. (2011). *Handbook of veterinary neurology* (5th ed.). Elsevier/Saunders.
- Mackay-Lyons, M. (2002). Central Pattern Generation of Locomotion: A Review of the Evidence. In *Physical Therapy* (Vol. 82). <https://academic.oup.com/ptj/article-abstract/82/1/69/2837028>
- Martinez, M., Delivet-Mongrain, H., Leblond, H., & Rossignol, S. (2012). Effect of locomotor training in completely spinalized cats previously submitted to a spinal hemisection. *Journal of Neuroscience*, 32(32), 10961–10970. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1578-12.2012>
- Mccrea, D. A. (2001). Topical Review Spinal circuitry of sensorimotor control of locomotion. In *The Journal of Physiology Symposium on Spinal Cord Function and Rehabilitation* (Issue 1).
- Monk, M. (2007). Hydrotherapy. In C. McGowan, L. Goff, & N. Stubbs (Eds.), *Animal Physiotherapy Assessment, Treatment and Rehabilitation of Animals* (pp. 187–198). Blackwell Publishing.

- Murakami, F., Song, W. J., & Katsumaru, H. (1992). Plasticity of neuronal connections in developing brains of mammals. *Neuroscience research*, 15(4), 235–253. [https://doi.org/10.1016/0168-0102\(92\)90045-e](https://doi.org/10.1016/0168-0102(92)90045-e)
- Lewis, M. J., Jeffery, N. D., Olby, N. J., & Canine Spinal Cord Injury Consortium (CANSORT-SCI) (2020). Ambulation in Dogs With Absent Pain Perception After Acute Thoracolumbar Spinal Cord Injury. *Frontiers in veterinary science*, 7, 560. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.00560>
- Lovely, R. G., Gregor, R. J., Roy, R. R., & Edgerton, V. R. (1986). Effects of training on the recovery of full-weight-bearing stepping in the adult spinal cat. *Experimental neurology*, 92(2), 421–435. [https://doi.org/10.1016/0014-4886\(86\)90094-4](https://doi.org/10.1016/0014-4886(86)90094-4)
- Olby, N., Harris, T., Burr, J., Muñana, K., Sharp, N., & Keene, B. (2004). Recovery of pelvic limb function in dogs following acute intervertebral disc herniations. *Journal of neurotrauma*, 21(1), 49–59. <https://doi.org/10.1089/089771504772695940>
- Olby, N. J., da Costa, R. C., Levine, J. M., Stein, V. M., & Canine Spinal Cord Injury Consortium (CANSORT SCI) (2020). Prognostic Factors in Canine Acute Intervertebral Disc Disease. *Frontiers in veterinary science*, 7, 596059. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.596059>
- Platt, S., & Olby, N. (2013). *BSAVA Manual of Canine and Feline Neurology* (Vol. 4).
- Ropper, A., Samuels, M., Klein, J., & Prasad, S. (2019). *Adams And Victor's Principles of Neurology* (11th ed.). McGraw-Hill Education.
- Rossignol, S., Chau, C., Giroux, N., Brustein, E., Bouyer, L., Marcoux, J., Langlet, C., Barthelmy, D., Provencher, J., Leblond, H., Barbeau, H., & Reader, T. A. (2002). The cat model of spinal injury. In *Progress in Brain Research* (Vol. 137).
- Rossignol, Serge, & Bouyer, L. (2004). *Adaptive Mechanisms of Spinal Locomotion in Cats 1* (Vol. 44). Delcomyn. <https://academic.oup.com/icb/article/44/1/71/599761>
- Rossignol, S., Dubuc, R., & Gossard, J. P. (2006). Dynamic sensorimotor interactions in locomotion. *Physiological reviews*, 86(1), 89–154. <https://doi.org/10.1152/physrev.00028.2005>
- Rossignol, Serge, & Frigon, A. (2011). Recovery of locomotion after spinal cord injury: Some facts and mechanisms. *Annual Review of Neuroscience*, 34, 413–440. <https://doi.org/10.1146/annurev-neuro-061010-113746>

- Roy, R., Harkema, S., & Edgerton, R. (2012). Basic concepts of activity-based interventions for improved recovery of motor function after spinal cord injury. In *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* (Vol. 93, Issue 9, pp. 1487–1497). W.B. Saunders. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2012.04.034>
- Schatzberg, S. J., Kent, M., & Platt, S.R. (2012). Neurologic Examination and Neuroanatomic Diagnosis. In K. M. Tobias & S. A. Johnston (Eds), *Veterinary surgery: Small animal* (pp. 325-339). St. Louis, Mo: Elsevier.
- Schomburg E. D. (1990). Spinal sensorimotor systems and their supraspinal control. *Neuroscience research*, 7(4), 265–340. [https://doi.org/10.1016/0168-0102\(90\)90008-3](https://doi.org/10.1016/0168-0102(90)90008-3)
- Sherrington, C. S. (1910). Flexion-Reflex of The Limb, Crossed Extension Reflex, And Reflex Stepping and Standing. *J. Physiol.*, 40, 28–121.
- Tazerart, S., Vinay, L., & Brocard, F. (2008). The persistent sodium current generates pacemaker activities in the central pattern generator for locomotion and regulates the locomotor rhythm. *Journal of Neuroscience*, 28(34), 8577–8589. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1437-08.2008>
- Thomson, C., & Hahn, C. (2012). *Veterinary Neuroanatomy A Clinical Approach*. Elsevier.
- Uemura, E. (2017a). Sensibilidades somática e visceral. In H. H. Dukes & W. O. Reece, *Dukes: Fisiologia Dos Animais Domésticos*. 13th ed. Guanabara Koogan.
- Uemura, E. (2017b). Sistema Motor. In H. H. Dukes & W. O. Reece, *Dukes: Fisiologia Dos Animais Domésticos*. 13th ed. Guanabara Koogan.
- Vavrek, R., Girgis, J., Tetzlaff, W., Hiebert, G. W., & Fouad, K. (2006). BDNF promotes connections of corticospinal neurons onto spared descending interneurons in spinal cord injured rats. *Brain: a journal of neurology*, 129(Pt 6), 1534–1545. <https://doi.org/10.1093/brain/awl087>
- Weidner, N., Ner, A., Salimi, N., & Tuszynski, M. H. (2001). Spontaneous corticospinal axonal plasticity and functional recovery after adult central nervous system injury. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 98(6), 3513–3518. <https://doi.org/10.1073/pnas.051626798>

Apêndice I- Sistema Motor

Tabela 1 – Feixes motores do sistema piramidal e respetiva função. (Adaptado de Thomson & Hahn, 2012).

	Feixes	Origem	Localização	Função
Extrapiramidal	Rubroespinal	Núcleo vermelho (mesencéfalo)	Funículo Lateral	• Facilita os músculos flexores. • Movimentos semi-especializados. • Controlo postural. • Locomoção (protração do membro).
	Reticuloespinal medular	Formação Reticular	Funículo Lateral	• Forte inibidor dos NMI-γ dos músculos extensores (ipsilateral e contralateral).
	Reticuloespinal pontino	Formação Reticular	Funículo Ventral	• Facilita os NMI-γ ipsilaterais de músculos extensores / antigravidade.
	Vestibuloespinal lateral	Núcleo vestibular lateral	Funículo Ventral	• Facilita os NMI-α e γ dos músculos extensores ipsilaterais. • Inibidor dos músculos flexores ipsilaterais e extensores contralaterais.
	Vestibuloespinal medial	Núcleo vestibular medial, rostral e caudal	Funículo Ventral	• Reforça a atividade muscular cervical e no membro torácico, o que ajuda a manter a postura, apesar das mudanças de posições da cabeça.
Piramidal	Corticoespinal	Pirâmides medulares	Funículo Lateral e Funículo Ventral	• Corticoespinal lateral: Facilita o movimento discreto e habilidoso das extremidades. Podem atuar em conjunto com o feixe rubroespinal. Não é bem desenvolvido na maioria dos animais quadrúpedes. • Corticoespinal ventral: Facilita os movimentos do pescoço e tronco.

Apêndice II- Classificação do doente paraplégico de grau 0

Tabela 2- Escala de Frankel modificada (schatzberg *et al*, 2012).

Grau	Classificação
0	Tetraplegia ou paraplegia sem nociceção profunda
1	Tetraplegia ou paraplegia sem nociceção superficial
2	Tetraplegia ou paraplegia com nociceção
3	Tetraparesia ou paraparésia não ambulatória
4	Tetraparesia ou paraparésia ambulatória com ataxia propriocetiva geral
5	Hiperestesia espinhal apenas ou sem disfunção

Anexo I- Termo de consentimento- Estudo cinemático



Termo de consentimento – *Estudo cinemático*

Tutor Nome: Número de identificação:
Nome do Animal:
Raça:
Idade:
Espécie: ☐ Gato ☐ Cão ☐ Outro
Género: ☐ Masculino ☐ Feminino

Eu, _____, tutor do doente acima descrito ou legalmente responsável pelo mesmo, autorizo a realização do estudo cinemático do mesmo.

Declaro ter sido informado, de forma clara e objetiva, de todo o procedimento inerente.

Desta forma, assino o presente termo de consentimento, de acordo com o meu documento de identificação.

____/____/____

O Tutor
