

**“VICTOR BABEȘ” UNIVERSITY OF MEDICINE AND PHARMACY FROM
TIMISOARA**

FACULTY OF MEDICINE

Department III – FUNCTIONAL SCIENCES

TĂLÎNGĂ ANDREEA-ANCUȚA



PHD THESIS

**NEUROFUNCTIONAL ASSESSMENT OF DEGENERATIVE SPINAL
DISORDERS**

A B S T R A C T

Scientific Coordinator:

PROF. UNIV. DR. BORZA CLAUDIA

Timișoara

2026

ABSTRACT

Degenerative disorders of the spine represent a major public health concern due to both their high prevalence and their functional, professional, and socio-economic impact. Among these conditions, lumbar and cervical spondylosis occupy a central role in current medical practice, being commonly associated with chronic pain, reduced mobility, decreased exercise tolerance, and impairment of daily activities. In many cases, the clinical presentation is further complicated by the occurrence of radiculopathy, which increases the degree of disability and requires a complex diagnostic and therapeutic approach.

An important aspect of this pathology is the incomplete relationship between structural changes identified through imaging and the clinical expression of the disease. In clinical practice, patients are frequently encountered in whom imaging investigations reveal significant degenerative changes, while symptomatology remains relatively mild, as well as cases in which severe clinical manifestations are not fully explained by morphological findings. This discrepancy highlights the need for complementary evaluation methods capable of capturing the real functional impact of the degenerative process on the neuromuscular system.

Interest in this topic was driven by observations from clinical rehabilitation practice, where the assessment and monitoring of patients with spinal spondylosis are often focused on pain symptoms and imaging findings, without a systematic quantification of neurofunctional and biomechanical alterations. Consequently, treatment effectiveness is frequently evaluated primarily through pain relief, while other relevant dimensions, such as nerve conduction, muscle activation, biomechanical muscle properties, and functional response to therapy remain insufficiently explored.

Based on these considerations, the present doctoral research aimed to analyze neurofunctional parameter changes in patients with lumbar and cervical spondylosis, with or without radiculopathy, and to evaluate the impact of complex rehabilitation interventions on these parameters. The scientific approach involved integrating clinical, imaging, electrodiagnostic, and biomechanical assessments in order to obtain a more comprehensive understanding of functional impairment and to support a more objective monitoring of therapeutic outcomes.

The thesis is structured into two main sections: a general section providing the theoretical and scientific background, and a special section including five clinical studies.

Through this approach, the thesis aims to contribute to the development of an integrated perspective in the rehabilitation of degenerative spinal pathology, in which objective neuromuscular evaluation complements clinical and imaging data and supports the individualization of therapeutic strategies.

GENERAL PART

The general section outlines the theoretical and clinical framework necessary for understanding degenerative spinal pathology and for supporting the studies included in the special section. Current data regarding the definition and classification of spinal spondylosis, the underlying anatomical, biomechanical, and pathophysiological mechanisms, clinical manifestations, neurofunctional assessment methods, and modern therapeutic approaches in conservative management are synthesized.

Spinal spondylosis represents a progressive degenerative process affecting the intervertebral disc, vertebral bodies, facet joints, and ligamentous structures, resulting in altered segmental biomechanics and abnormal load redistribution at the spinal level. Degeneration typically begins at the intervertebral disc through dehydration, decreased proteoglycan content, and reduced elasticity, leading to a diminished capacity to distribute axial forces evenly. Subsequently, disc height reduction, increased stress on posterior elements, osteophyte formation, ligament hypertrophy, and other associated degenerative changes occur.

The cervical and lumbar regions are most frequently involved due to their specific biomechanical characteristics. The cervical spine is highly mobile and subjected to repetitive flexion, extension, and rotational stresses, particularly at lower segments where degeneration and radicular compression are more common. The lumbar spine plays a predominant load-bearing role, transmitting body weight to the pelvis, and is therefore predisposed to disc degeneration, facet arthrosis, and degenerative stenosis, especially at lower levels. In both regions, structural changes may be associated with impaired neuromuscular control and dynamic components of radicular compression.

From an epidemiological perspective, degenerative spinal disorders have a high prevalence and increase progressively with age. Low back pain is one of the leading causes of disability worldwide, while cervical degenerative pathology significantly contributes to

functional limitation and reduced work capacity. The socio-economic impact is considerable, involving both direct costs related to investigations, treatment, and rehabilitation, and indirect costs due to work absenteeism, decreased productivity, and disability. Moreover, degenerative changes are frequently identified in asymptomatic individuals, limiting the value of imaging when interpreted in isolation.

The pathophysiology of spinal spondylosis is complex, involving not only structural and biomechanical mechanisms but also inflammatory and neurophysiological processes. Disc degeneration is associated with increased expression of pro-inflammatory mediators, neoangiogenesis, and neoinnervation within altered discal structures, mechanisms implicated in discogenic pain. In parallel, persistent nociceptive stimulation may lead to central sensitization, contributing to pain persistence and partially explaining the discrepancy between imaging severity and clinical symptom intensity.

Clinical manifestations are heterogeneous and depend on localization, structural severity, and neurofunctional involvement. Cervical spondylosis typically presents with mechanical neck pain, stiffness, and reduced mobility, while radicular involvement leads to cervicobrachial pain, paresthesia, sensory disturbances, and motor deficits. In severe cases, cervical myelopathy may develop. Lumbar spondylosis is characterized primarily by mechanical low back pain, sometimes accompanied by radicular pain in the lower limb, sensory disturbances, and motor deficits, while degenerative stenosis may result in neurogenic claudication. In all cases, clinical expression reflects the interaction between structural changes, inflammatory mechanisms, biomechanical adaptations, and compensatory neuromuscular responses.

Muscular and postural adaptations represent an important component of this pathology. Persistent pain and segmental dysfunction frequently lead to hyperactivity of superficial musculature, inhibition of deep stabilizing muscles, and the development of compensatory motor and postural patterns. In cervical spondylosis, these changes may manifest as forward head posture, increased tone in superficial cervical and scapulohumeral muscles, and impaired motor control. In lumbar spondylosis, excessive co-contractions, muscle stiffness, and altered trunk stabilization strategies may occur. These adaptations contribute to pain persistence and justify the use of objective muscle assessment methods.

In this context, objective functional evaluation becomes essential. Nerve conduction studies allow the assessment of latencies, response amplitudes, and conduction velocity, providing valuable information on peripheral nerve integrity and differentiation between radiculopathies and peripheral neuropathies. Electromyography complements this evaluation

by analyzing muscle activation and motor unit recruitment, enabling the investigation of motor control strategies under functional conditions. Myotonometry represents a non-invasive complementary method for assessing muscle tone, stiffness, elasticity, and viscoelastic behavior. Used together, these methods do not duplicate imaging information but rather complement it by providing a functional perspective on disease impact.

Regarding treatment, current evidence supports conservative management as the first-line approach in most cases without surgical indication. Pharmacological treatment has primarily a symptomatic role, while rehabilitation—centered on physiotherapy and supported by physical modalities—aims to reduce pain, improve mobility, optimize neuromuscular control, enhance segmental stability, and decrease disability. Objective monitoring of treatment response is essential, as pain and patient-reported disability alone capture only part of the therapeutic outcome.

Overall, the general section highlights the complex, multifactorial, and heterogeneous nature of spinal spondylosis and supports the need for an integrated approach that correlates structural changes with neuromuscular function and clinical expression. This theoretical framework underpins the special section of the thesis, focused on the objective analysis of neurofunctional and biomechanical parameters and on evaluating the effects of rehabilitation in patients with lumbar and cervical spondylosis.

SPECIAL PART

The special section includes five clinical studies conducted on patients with lumbar and cervical spondylosis, aiming to evaluate the relationship between structural and functional changes, as well as the effects of rehabilitation on electrodiagnostic, biomechanical, cardiovascular, and clinical parameters.

A total of 181 participants were included: 92 patients with lumbar spondylosis, 64 with cervical spondylosis, and 25 healthy subjects in the control group. The studies addressed correlations between imaging findings and electrodiagnostic parameters, the dynamics of nerve conduction and surface electromyography, treatment effects on pain, function and cardiovascular parameters, and muscle biomechanical adaptations following therapeutic interventions.

Through its structured design, the special section highlights the value of objective assessments in evaluating neuromuscular impairment and monitoring treatment response, each study contributing to an integrated understanding of degenerative spinal pathology.

STUDY 1: Evaluation of Nerve Conduction Velocity in Patients with Lumbar Radiculopathy – Observational Study

The first study aimed to analyze the parameters of nerve conduction studies in patients with lumbar radiculopathy associated with lumbar spondylosis, in the absence of clinical neurological deficit, as well as to evaluate the utility of these investigations in early diagnosis.

A total of 11 patients aged between 41 and 78 years were included and evaluated clinically, through imaging, and electrodiagnostically. All patients presented chronic low back pain with radicular characteristics, with a mean symptom duration of 3.81 ± 1.6 months. Pain intensity was high, with a mean score of 74.54 ± 6.87 on the visual analog scale. Health status assessment using the EQ-5D-5L questionnaire indicated moderate functional impairment across most domains, with mean scores of 3.18 for mobility, 3.09 for usual activities, 3.63 for pain, and 3.18 for anxiety, reflecting a significant clinical impact despite the absence of an evident neurological deficit on clinical examination.

Magnetic resonance imaging showed that most patients presented grade 1 or 2 radicular involvement, predominantly at the L4–L5 and L5–S1 levels, with bilateral nerve root compression described in more than half of the cases. From an electrodiagnostic perspective, nerve conduction velocity was reduced in the tibial nerve in 29.41% of cases, while no reductions were observed in the peroneal nerve. Compound muscle action potential amplitudes remained within reference limits for all examined nerves. The identified electrodiagnostic changes were associated with grade 2 radicular involvement evidenced by imaging.

The results supported the study hypothesis, demonstrating that nerve conduction studies can detect functional alterations even in the absence of a clinical neurological deficit. However, the relatively low frequency of identified abnormalities suggests limited sensitivity of these investigations in early clinical stages, requiring their interpretation in correlation with clinical and imaging findings. The main limitation of the study was the small sample size, which justified the extension of the research to a larger cohort, including a control group and a longitudinal evaluation following medical rehabilitation treatment.

STUDY 2: Neurofunctional Assessments in Lumbar Spondylosis: Outcomes After Medical Rehabilitation Treatment

The second study aimed to evaluate changes in electrophysiological parameters in patients with lumbar spondylosis before and after medical rehabilitation treatment, as well as to compare these findings with a control group of healthy subjects. The study included 60 patients and 25 healthy individuals and followed a longitudinal quasi-experimental design. Patients underwent clinical, imaging, and electrophysiological evaluation through nerve conduction studies and surface electromyography both at baseline and at 6 months after medical rehabilitation treatment. The rehabilitation program consisted of balneotherapy, electrotherapy, thermotherapy, and physiotherapy.

Compared to the control group, patients were significantly older and had a higher body mass index, as well as a higher prevalence of hypertension and diabetes mellitus. Clinically, pain intensity was significantly reduced following rehabilitation treatment, with the median VAS score decreasing from 5 IQR [4–7] to 3 IQR [2–4], the difference being statistically significant ($p < 0.001$). The estimated median reduction was 2 points. Furthermore, pain improvement was greater in patients with radiculopathy compared to those without ($p < 0.001$).

Cross-sectional analysis of nerve conduction study parameters revealed significant differences between patients and controls. For the right tibial nerve, distal latency was 3.40 vs. 2.50 ms, residual latency 1.42 vs. 1.10 ms, CMAP amplitude 8.70 vs. 13.10 mV, and conduction velocity 45.10 vs. 48.40 m/s, with all differences being statistically significant (p values between 0.003 and < 0.001). For the peroneal nerve, residual latency was significantly increased, while CMAP amplitude and conduction velocity were significantly reduced bilaterally (p values between 0.009 and < 0.001). Multivariate linear regression analysis, adjusted for age, sex, body mass index, and comorbidities, confirmed the persistence of these differences.

Surface electromyography of the tibialis anterior muscle showed significantly lower scores for amplitude and recruitment pattern in patients compared to healthy subjects at baseline, with median differences of 2 to 3 points and $p < 0.001$.

Following medical rehabilitation treatment, longitudinal analysis demonstrated significant improvements in all nerve conduction parameters. For both the tibial and peroneal nerves, reductions in latencies and increases in amplitudes and conduction velocities were observed bilaterally (all $p \leq 0.001$). Similarly, surface electromyography showed improved muscle activation, with recruitment pattern scores increasing from 2 to 3 bilaterally and amplitude improving significantly ($p = 0.001$ on the right side and 0.004 on the left).

The results confirmed the study hypothesis, demonstrating that patients with lumbar spondylosis exhibit neurofunctional alterations compared to healthy subjects and that multimodal medical rehabilitation treatment is associated with both clinical pain improvement and objective enhancements in neuromuscular function. The correlations between imaging findings and electrophysiological changes were limited, supporting the concept that imaging and neurofunctional assessment explore complementary dimensions of the disease.

STUDY 3: Effects of Physiotherapy and CO₂ Balneotherapy in Patients with Arterial Hypertension and Lumbar Spondylosis

The third study aimed to evaluate changes in cardiovascular parameters in patients with high-normal blood pressure and arterial hypertension associated with lumbar spondylosis and intervertebral disc pathology, following a medical rehabilitation program based on CO₂ balneotherapy and physiotherapy. The study had a prospective pre–post interventional design and included 32 patients.

The cohort consisted of 13 patients with high-normal blood pressure, 14 with stage I hypertension, and 5 with stage II hypertension. All participants presented lumbar spondylosis and intervertebral disc pathology without clinical neurological deficit. Evaluations were performed at baseline and after 14 days of intervention and included measurements of systolic and diastolic blood pressure, heart rate, peripheral oxygen saturation, pain intensity using the VAS scale, and overall health status using the EQ-5D-5L questionnaire.

The treatment protocol included carbonated mineral water baths, mofettes, and a standardized physiotherapy program. Exercises were tailored to the cardiovascular and musculoskeletal characteristics of the patients and included mobility exercises, exercises aimed at stimulating muscle metabolism and reducing peripheral resistance, aerobic training on a cycle ergometer, lumbar stabilization exercises, and postural education components.

At the level of the entire cohort, systolic blood pressure decreased from 138.91 ± 16.64 mmHg to 120.06 ± 14.68 mmHg, and diastolic blood pressure from 82.25 ± 9.43 mmHg to 69.81 ± 6.85 mmHg, both changes being statistically significant ($p < 0.001$). Heart rate and peripheral oxygen saturation did not show significant changes at the group level. Subgroup analysis showed that patients with high-normal blood pressure and those with stage I hypertension experienced significant reductions in both systolic and diastolic blood pressure, while in patients with stage II hypertension a significant reduction was observed mainly in systolic blood pressure, along with a significant increase in SpO₂ ($p = 0.004$).

In parallel, low back pain improved significantly, with the VAS score decreasing from 6.50 ± 1.16 to 3.37 ± 0.83 ($p < 0.001$). Additionally, all domains of the EQ-5D-5L questionnaire showed significant improvements after treatment ($p < 0.001$ for mobility, self-care, usual activities, pain/discomfort, and anxiety/depression). These findings suggest that the multimodal intervention had beneficial effects not only on cardiovascular parameters but also on pain and quality of life.

The results supported the study hypothesis, demonstrating that CO₂ balneotherapy combined with physiotherapy favorably influences cardiovascular parameters and clinical status in patients with arterial hypertension and degenerative lumbar pathology. Although the absence of a control group limits causal interpretation, the findings support the utility of this approach within medical rehabilitation programs.

STUDY 4: Specific Muscle Biomechanical Adaptations Following Medical Rehabilitation Treatment in Patients with Cervical Spondylosis: A Pilot Study

The fourth study aimed to evaluate changes in muscle biomechanical properties and handgrip strength in patients with cervical spondylosis before and after the application of a standardized 14-day medical rehabilitation program.

The study had a pre–post interventional observational design and included 23 patients diagnosed with cervical spondylosis. The assessment targeted the cervical musculature and the scapulohumeral girdle, with the upper trapezius, deltoid, and pectoralis major muscles selected due to their important role in postural control and compensatory adaptations associated with cervical spondylosis. Muscle biomechanical properties were assessed using the MyotonPRO device, and handgrip strength was measured using a portable dynamometer (Hoggan microFET 2).

The therapeutic protocol applied to all participants included carbonated mineral water balneotherapy, TENS electrotherapy, ultrasound therapy, thermotherapy, and a physiotherapy program consisting of active cervical mobilization exercises, stretching, isometric exercises, and scapulohumeral stabilization exercises. Assessments were performed prior to the initiation of treatment and at the end of the 14-day rehabilitation program.

The results demonstrated differentiated biomechanical changes depending on the muscle examined. At the level of the right deltoid muscle, a significant reduction in frequency was observed from 14.86 ± 2.53 to 13.50 ± 1.27 Hz ($p = 0.034$), along with a decrease in stiffness ($p = 0.014$), suggesting reduced resting muscle tone and passive resistance. For the

left deltoid, the changes were not statistically significant. In the case of the upper trapezius, frequency and stiffness did not change significantly; however, the decrement decreased bilaterally ($p = 0.049$ on the right and 0.042 on the left), indicating improved muscle elasticity. The relaxation time of the left upper trapezius showed a trend toward change, without reaching statistical significance.

The pectoralis major muscle exhibited the most pronounced changes. On the right side, a significant increase in frequency ($p = 0.008$), a significant reduction in relaxation time ($p = 0.004$), a decrease in creep ($p = 0.004$), and a reduction in decrement ($p < 0.001$) were observed. On the left side, significant improvements were noted in relaxation time ($p = 0.031$), creep ($p = 0.034$), and decrement ($p = 0.001$). This pattern suggested a complex functional adaptation, characterized by improved elasticity and relaxation capacity, consistent with the stabilizing role of the scapulohumeral musculature.

Handgrip strength increased bilaterally after treatment. For the right upper limb, the mean value increased from 338.91 ± 100.12 N to 364.51 ± 99.34 N, and for the left upper limb from 332.93 ± 106.20 N to 350.88 ± 105.22 N. These findings suggest an overall improvement in neuromuscular performance of the upper limbs.

The results supported the study hypothesis, demonstrating that medical rehabilitation treatment induces objective changes in muscle biomechanical properties in patients with cervical spondylosis. The observed changes highlighted a differentiated muscular response, with reduced tone and stiffness in some muscles and stabilizing functional adaptations in others. Although the study is limited by the small sample size and the absence of a control group, the findings support the value of objective biomechanical assessment methods in evaluating treatment response.

STUDY 5: Neurofunctional Assessments in Cervical Spondylosis: Results Following Medical Rehabilitation Treatment

The fifth study aimed to evaluate changes in neurofunctional parameters of the upper limb in patients with cervical spondylosis, using nerve conduction studies and surface electromyography, as well as to analyze the relationship between these parameters and the clinical and imaging characteristics of the disease. At the same time, comparisons were made between patient results and those of a control group of healthy subjects, and the evolution of neurofunctional parameters was assessed six months after the initiation of medical rehabilitation treatment.

The study had a quasi-experimental, non-randomized design and included 41 patients diagnosed with cervical spondylosis and 25 healthy subjects in the control group. Assessments were performed initially in both groups, and in the patient group they were repeated six months after the application of a standardized medical rehabilitation program. This program was multimodal and included balneotherapy, electrotherapy, ultrasound therapy, thermotherapy, and physiotherapy aimed at reducing pain, improving cervical mobility, and optimizing neuromuscular function of the scapulohumeral girdle and upper limb.

Patients were significantly older than controls, with a mean age of 57.02 ± 11.74 years compared to 45.24 ± 13.21 years ($p < 0.001$), and had a higher body mass index ($p = 0.031$). In the patient group, the median duration of symptoms was 6 months, and radiculopathy was present in 80.5% of subjects, being associated with a significantly longer symptom duration ($p < 0.001$).

Pain improved significantly following the rehabilitation program, with the VAS score decreasing by an estimated median difference of 2.5 points ($p < 0.001$). The type of structural lesion influenced the therapeutic response, with greater pain reduction observed in patients with cervical discopathy compared to those with disc herniation ($p = 0.031$), while the presence of radiculopathy did not significantly influence changes in VAS score ($p = 0.594$).

Cross-sectional analysis of nerve conduction studies revealed significant electrophysiological alterations in patients with cervical spondylosis compared to controls. For the right median nerve, distal latency was 3.10 ms compared to 2.10 ms in controls, and on the left side 3.00 ms compared to 1.90 ms, both differences being significant (adjusted $p < 0.001$). Residual latency was also increased bilaterally for the median nerve (adjusted $p < 0.001$), while CMAP amplitude was significantly reduced for all examined nerves bilaterally (adjusted $p < 0.001$). Motor conduction velocity was significantly lower, particularly for the median nerve bilaterally (adjusted $p = 0.002$ on the right and < 0.001 on the left). This profile suggested predominant neurofunctional impairment at the level of the median nerve, consistent with involvement of the lower cervical segments and distal motor dysfunction of the upper limb.

Multivariable analysis adjusted for age, sex, body mass index, and comorbidities confirmed the persistence of differences between patients and controls, particularly for the median nerve bilaterally, where increased latencies, reduced amplitudes, and decreased conduction velocities remained significant (p values between 0.016 and < 0.001).

Surface electromyographic evaluation showed that patients exhibited a significant reduction in signal amplitude and recruitment pattern for all analyzed muscles bilaterally. For

example, for the abductor pollicis brevis muscle on both sides, median amplitude was 2 compared to 5 in controls (adjusted $p < 0.001$), and the recruitment pattern was also significantly reduced (adjusted $p < 0.001$). Similar results were observed for the abductor digiti minimi and extensor digitorum muscles. EMG signal duration remained normal and did not differentiate between groups.

Longitudinal analysis of nerve conduction parameters showed significant improvement at 6 months after rehabilitation treatment. Distal latency decreased bilaterally for all examined nerves (adjusted $p < 0.023$), and residual latency decreased significantly for the median and ulnar nerves (adjusted $p < 0.001$). CMAP amplitude increased significantly for all nerves bilaterally (adjusted p between 0.004 and < 0.001), and motor conduction velocity improved significantly for all examined nerves (adjusted p between 0.010 and < 0.001).

Surface electromyography also demonstrated improved muscle activation after rehabilitation treatment. For the abductor pollicis brevis muscle, signal amplitude increased bilaterally from a median of 2 to 3 or 4, and the recruitment pattern from 2 to 3, all differences being significant (adjusted $p = 0.006$). For the abductor digiti minimi muscle, improvement was more evident in the recruitment pattern (adjusted $p < 0.010$), while for the extensor digitorum muscle, changes were more heterogeneous, but on the right side both amplitude and recruitment pattern increased significantly (adjusted $p = 0.044$ and 0.028, respectively).

An important finding of the study was the significant correlations between CMAP amplitude and surface electromyographic parameters, particularly at the level of the median nerve. For the right abductor pollicis brevis muscle, the correlation between CMAP and sEMG amplitude was strong (Spearman coefficient $\rho = 0.632$, $p < 0.001$), and the correlation with the recruitment pattern was $\rho = 0.626$ ($p < 0.001$). At the level of the ulnar nerve, correlations were moderate but statistically significant, supporting the functional relationship between peripheral nerve conduction integrity and muscle activity.

In contrast, the severity of imaging findings did not consistently correlate with electrophysiological changes or treatment response. Although regression analysis showed that imaging severity was negatively associated with changes in CMAP amplitude of the right median nerve ($p = 0.019$), overall correlations between MRI severity and neurophysiological response were weak and non-significant. Similarly, pain improvement did not significantly correlate with changes in CMAP amplitude or recruitment pattern, suggesting that clinical evolution and neurofunctional recovery are not entirely overlapping.

The results supported the study hypothesis, demonstrating that patients with cervical spondylosis present significant electrophysiological alterations compared to healthy subjects

and that these changes may improve over time under the influence of medical rehabilitation treatment. Impairment was more pronounced at the level of the median nerve, and the combined use of nerve conduction studies and surface electromyography provided a more comprehensive functional perspective on neuromuscular deficit. Consequently, the combined use of these methods may provide objective information useful both for assessing the functional impact of cervical spondylosis and for monitoring the response to rehabilitation treatment.

GENERAL CONCLUSIONS

The results of this thesis show that degenerative spinal disorders are not limited to structural changes, but represent a complex set of neurofunctional and biomechanical adaptations that vary depending on the affected segment. Thus, in cervical spondylosis, impairment was predominantly observed at the level of the median nerve, whereas in lumbar spondylosis, changes were more evident at the level of the tibial and peroneal nerves, outlining distinct patterns of neuromuscular dysfunction.

Multimodal rehabilitation treatment resulted not only in pain reduction, but also in objective improvements in neuromuscular function, reflected by changes in electrophysiological parameters, more efficient muscle activation, and favorable adaptations of biomechanical muscle properties. These findings support the value of neurofunctional assessment in evaluating the response to treatment.

The main contribution of this thesis lies in highlighting the role of neurofunctional and biomechanical assessment as complementary tools to imaging, necessary for an accurate evaluation of functional impact and for monitoring treatment outcomes. At the same time, the results open future research directions focused on their validation in larger populations, as well as on the differentiated analysis of the components of multimodal rehabilitation treatment, namely physiotherapy, kinetotherapy, and balneotherapy.

UNIVERSITATEA DE MEDICINĂ ȘI FARMACIE

“VICTOR BABEȘ” DIN TIMISOARA

FACULTATEA DE MEDICINĂ

Departamentul III – ȘTIINȚE FUNCȚIONALE

TĂLÎNGĂ ANDREEA-ANCUȚA



TEZĂ DE DOCTORAT

**EVALUAREA NEUROFUNCȚIONALĂ A AFECȚIUNILOR
DEGENERATIVE ALE COLOANEI VERTEBRALE**

R E Z U M A T

Conducător de doctorat:

PROF. UNIV. DR. BORZA CLAUDIA

Timișoara

2026

REZUMAT

Afecțiunile degenerative ale coloanei vertebrale reprezintă o problemă majoră de sănătate publică, atât prin frecvența lor ridicată, cât și prin consecințele funcționale, profesionale și socio-economice pe care le generează. Dintre acestea, spondiloza lombară și spondiloza cervicală ocupă un loc central în practica medicală curentă, fiind asociate cu durere cronică, limitarea mobilității, reducerea toleranței la efort și alterarea capacității de desfășurare a activităților zilnice. În numeroase cazuri, tabloul clinic este complicat de apariția radiculopatiei, ceea ce amplifică gradul de dizabilitate și impune o abordare diagnostică și terapeutică complexă.

Un aspect important al acestei patologii este reprezentat de relația incompletă dintre modificările structurale evidențiate imagistic și expresia clinică a bolii. În practica medicală se întâlnesc frecvent pacienți la care investigațiile imagistice arată modificări degenerative importante, în timp ce simptomatologia este relativ discretă, dar și situații inverse, în care un tablou clinic sever nu este explicat pe deplin de datele morfologice. Această discrepanță susține necesitatea unor metode complementare de evaluare, capabile să surprindă impactul funcțional real al procesului degenerativ asupra sistemului neuromuscular.

Interesul pentru această temă a fost determinat de observațiile formulate în activitatea clinică de reabilitare medicală, unde evaluarea și monitorizarea pacienților cu spondiloză vertebrală sunt adesea centrate pe simptomatologia algică și pe examenul imagistic, fără o cuantificare sistematică a modificărilor neurofuncționale și biomecanice. În consecință, eficiența tratamentului este frecvent apreciată prin ameliorarea durerii, în timp ce alte dimensiuni importante, precum conducerea nervoasă, activarea musculară, proprietățile biomecanice ale musculaturii sau răspunsul funcțional la intervențiile terapeutice, rămân insuficient explorate.

Pornind de la aceste premise, cercetarea doctorală și-a propus să analizeze modificările parametrilor neurofuncționali la pacienții cu spondiloză lombară și cervicală, cu sau fără radiculopatie, și să evalueze impactul tratamentului complex de reabilitare medicală asupra acestora. Demersul științific a urmărit integrarea evaluării clinice, imagistice, electrodiagnostice și biomecanice, pentru a obține o imagine mai completă asupra afectării funcționale și pentru a fundamenta o monitorizare mai obiectivă a efectelor terapeutice.

Teza este structurată în două părți principale, o parte generală cu rol teoretic și de fundamentare științifică și o parte specială care cuprinde cinci studii clinice realizate.

Prin acest demers, teza își propune să contribuie la consolidarea unei perspective integrate în reabilitarea medicală a patologiei degenerative vertebrale, în care evaluarea obiectivă a funcției neuromusculare să completeze datele clinice și imagistice și să susțină individualizarea strategiilor terapeutice.

PARTEA GENERALĂ

Partea generală a tezei prezintă cadrul teoretic și clinic necesar înțelegerii patologiei degenerative vertebrale și a fundamentării studiilor incluse în partea specială. Sunt sintetizate datele actuale privind definiția și clasificarea spondilozei vertebrale, mecanismele anatomice, biomecanice și fiziopatologice implicate, manifestările clinice, metodele de evaluare neurofuncțională și direcțiile terapeutice moderne utilizate în managementul conservator al acestor pacienți.

Spondiloza vertebrală reprezintă un proces degenerativ progresiv care afectează discul intervertebral, corpurile vertebrale, articulațiile fațetare și structurile ligamentare, având drept consecință alterarea biomecanicii segmentare și redistribuirea anormală a sarcinilor la nivel spinal. Procesul degenerativ debutează frecvent la nivelul discului intervertebral prin deshidratare, scăderea conținutului de proteoglicani și reducerea elasticității, ceea ce determină pierderea capacității de distribuire uniformă a forțelor axiale. Ulterior apar reducerea înălțimii discale, suprasolicitarea articulațiilor posterioare, dezvoltarea osteofitelor, hipertrofia ligamentară și alte modificări degenerative asociate.

Regiunile cervicală și lombară sunt cele mai frecvent implicate, datorită particularităților lor biomecanice. Segmentul cervical se caracterizează prin mobilitate crescută și este expus solicitărilor repetate în flexie, extensie și rotație, în special la nivelurile inferioare, unde degenerarea și compresia radiculară sunt mai frecvente. Segmentul lombar are un rol predominant portant și este responsabil de transmiterea greutății corporale către bazin, fiind astfel predispus la degenerare discală, artroză fațetară și stenoză degenerativă, mai ales la nivelurile inferioare. În ambele regiuni, modificările structurale se pot asocia cu alterarea controlului neuromuscular și cu apariția unor componente dinamice ale compresiei radiculare.

Din punct de vedere epidemiologic, afecțiunile degenerative ale coloanei vertebrale au o prevalență ridicată și cresc progresiv odată cu vârsta. Durerea lombară reprezintă una dintre

principalele cauze de dizabilitate la nivel mondial, iar patologia cervicală degenerativă contribuie semnificativ la limitarea funcțională și la reducerea capacității de muncă. Impactul socio-economic este major, prin costurile directe legate de investigații, tratament și reabilitare, dar și prin costurile indirecte generate de absenteism profesional, reducerea productivității și invaliditate. Totodată, literatura de specialitate arată că modificările degenerative pot fi identificate frecvent și la persoane asimptomatice, ceea ce limitează valoarea interpretării izolate a investigațiilor imagistice.

Fiziopatologia spondilozei vertebrale este complexă și include nu doar mecanisme structurale și biomecanice, ci și procese inflamatorii și neurofiziologice. Degenerarea discală se asociază cu expresia crescută a unor mediatori proinflamatori, cu neoangiogeneză și neoinervație la nivelul structurilor discale alterate, mecanisme implicate în apariția durerii discogene. În paralel, stimularea nociceptivă persistentă poate favoriza sensibilizarea centrală, fenomen care contribuie la întreținerea durerii și poate explica parțial discrepanța dintre severitatea modificărilor imagistice și intensitatea simptomatologiei clinice.

Manifestările clinice ale spondilozei vertebrale sunt heterogene și depind de localizare, de gradul afectării structurale și de implicarea componentelor neurofuncționale. La nivel cervical predomină cervicalgia mecanică, rigiditatea și limitarea mobilității, iar în cazurile cu afectare radiculară apar durerea cervicobrahială, paresteziile, tulburările senzitive și deficitul motor în teritoriul rădăcinilor afectate. În formele severe poate apărea mielopatia cervicală, cu afectare funcțională extinsă. La nivel lombar, tabloul clinic este dominat de lombalgie mecanică, uneori însoțită de durere iradiată în membrul inferior, tulburări senzitive și deficit motor, iar în contextul stenozei degenerative poate apărea claudicația neurogenă. În toate aceste situații, expresia clinică este rezultatul interacțiunii dintre modificările structurale, mecanismele inflamatorii, adaptările biomecanice și răspunsurile neuromusculare compensatorii.

Un aspect important evidențiat în partea generală este reprezentat de adaptările musculare și posturale asociate patologiei degenerative vertebrale. Durerea persistentă și disfuncția segmentară determină frecvent hiperactivitatea musculaturii superficiale, inhibiția musculaturii stabilizatoare profunde și apariția unor tipare motorii și posturale compensatorii. În spondiloza cervicală, aceste modificări se pot exprima prin postura capului anteriorizată, creșterea tonusului musculaturii superficiale cervicale și scapulohumerale și alterarea controlului motor. În spondiloza lombară, pot apărea co-contrații excesive, rigiditate musculară și modificări ale strategiilor de stabilizare ale trunchiului. Aceste adaptări contribuie la întreținerea durerii și justifică utilizarea unor metode obiective de evaluare musculară.

În acest context, evaluarea funcțională obiectivă capătă o importanță majoră. Studiile de conducere nervoasă permit aprecierea latențelor, amplitudinii răspunsurilor motorii și a vitezei de conducere, oferind informații utile despre integritatea funcțională a nervilor periferici și despre diferențierea dintre radiculopatii și neuropatii periferice. Electromiografia completează această evaluare prin analiza activării musculare și a recrutării unităților motorii, permițând investigarea strategiilor de control motor în condiții funcționale. Miotonometria reprezintă o metodă complementară neinvazivă, utilă pentru aprecierea tonusului, rigidității, elasticității și comportamentului viscoelastic al musculaturii superficiale. Utilizate împreună, aceste metode nu dublează informația imagistică, ci o completează, oferind o perspectivă funcțională asupra impactului bolii.

În ceea ce privește tratamentul, studiile actuale susțin că abordarea conservatoare reprezintă prima opțiune terapeutică în majoritatea cazurilor fără indicație chirurgicală. Tratamentul medicamentos are în principal rol simptomatic, în timp ce reabilitarea medicală, centrată pe kinetoterapie și susținută prin proceduri fizicale adjuvante, urmărește reducerea durerii, îmbunătățirea mobilității, optimizarea controlului neuromuscular, creșterea stabilității segmentare și reducerea dizabilității. Un aspect esențial este monitorizarea obiectivă a răspunsului la tratament, deoarece evaluarea exclusivă a durerii și a dizabilității percepute de pacient surprinde doar parțial complexitatea răspunsului terapeutic.

În ansamblu, partea generală evidențiază caracterul complex, multifactorial și heterogen al spondilozei vertebrale și susține necesitatea unei abordări integrate, care să coreleze modificările structurale cu funcția neuromusculară și cu expresia clinică. Această bază teoretică fundamentează partea specială a tezei, orientată spre analiza obiectivă a parametrilor neurofuncționali, biomecanici și spre evaluarea efectelor tratamentului de reabilitare medicală la pacienții cu spondiloză lombară și cervicală.

PARTEA SPECIALĂ

Partea specială a tezei reunește cinci studii clinice desfășurate pe loturi de pacienți cu spondiloză lombară și cervicală, cu scopul de a evalua relația dintre modificările structurale și cele funcționale, precum și efectele tratamentului de reabilitare medicală asupra parametrilor electrodiagnostici, biomecanici, cardiovasculari și clinici.

Cercetarea a inclus în total 181 de participanți, dintre care 92 de pacienți cu spondiloză lombară, 64 de pacienți cu spondiloză cervicală și 25 de subiecți sănătoși în lotul martor. Studiile au urmărit, în mod diferențiat, corelația dintre investigațiile imagistice și parametrii

electrodiagnostici, dinamica studiilor de conducere nervoasă și a electromiografiei de suprafață, efectele tratamentului de reabilitare medicală asupra durerii, funcției și parametrilor cardiovasculari, precum și adaptările biomecanice musculare după intervențiile terapeutice.

Prin structura sa etapizată, partea specială urmărește să evidențieze valoarea evaluărilor obiective în aprecierea afectării neuromusculare și în monitorizarea răspunsului la tratament. Fiecare studiu explorează o dimensiune specifică a procesului de reabilitare medicală, contribuind la conturarea unei perspective integrate asupra patologiei degenerative vertebrale.

STUDIUL 1: Evaluarea studiului vitezei de conducere nervoasă la pacienții cu radiculopatie lombară – studiu observațional

Primul studiu a avut ca obiectiv analiza parametrilor studiilor de conducere nervoasă la pacienții cu radiculopatie lombară asociată spondilozei lombare, în absența deficitului neurologic clinic, precum și evaluarea utilității acestor investigații în diagnosticul precoce.

Au fost incluși 11 pacienți cu vârste între 41 și 78 de ani, evaluați clinic, imagistic și electrodiagnostic. Toți pacienții au prezentat durere lombară cronică cu caracter radicular, durata medie a simptomelor fiind de 3.81 ± 1.6 luni. Intensitatea durerii a fost mare, scorul mediu pe scala analog-vizuală fiind de 74.54 ± 6.87 . Evaluarea stării de sănătate prin chestionarul EQ-5D-5L a evidențiat afectare funcțională moderată în majoritatea domeniilor, cu scoruri medii de 3.18 pentru mobilitate, 3.09 pentru activitățile uzuale, 3.63 pentru durere și 3.18 pentru anxietate, ceea ce indică un impact clinic important, în ciuda absenței unui deficit neurologic evident la examenul clinic.

Examinarea imagistică prin rezonanță magnetică a arătat că majoritatea pacienților prezentau afectare radiculară de gradul 1 sau 2, predominant la nivelurile L4–L5 și L5–S1, iar compresia bilaterală a rădăcinilor nervoase a fost descrisă la mai mult de jumătate dintre cazuri. Din punct de vedere electrodiagnostic, viteza de conducere nervoasă a fost redusă la nervul tibial în 29.41% dintre cazuri, în timp ce la nervul peronier nu s-au înregistrat reduceri ale vitezei de conducere. Amplitudinile potențialului de acțiune motor compus au rămas în limitele de referință pentru toți nervii examinați. Modificările electrodiagnostice identificate au fost asociate cu afectarea radiculară de gradul 2 evidențiată imagistic.

Rezultatele au susținut ipoteza studiului, demonstrând că studiile de conducere nervoasă pot evidenția alterări funcționale chiar și în absența unui deficit neurologic clinic. Totuși, frecvența relativ redusă a anomaliilor identificate sugerează o sensibilitate limitată a

acestor investigații în stadiile clinice discrete, ceea ce impune interpretarea lor în corelație cu tabloul clinic și imagistic. Principala limitare a studiului a fost dimensiunea redusă a eșantionului, ceea ce a justificat extinderea cercetării într-un lot mai mare, cu includerea unui grup de control și a unei evaluări longitudinale după tratamentul de reabilitare medicală.

STUDIUL 2: Evaluări neurofuncționale în spondiloza lombară: rezultate după tratamentul de reabilitare medicală

Al doilea studiu a urmărit evaluarea modificărilor parametrilor electrofiziologici la pacienții cu spondiloză lombară înainte și după tratamentul de reabilitare medicală, precum și compararea acestora cu un grup de control format din subiecți sănătoși. Studiul a inclus 60 de pacienți și 25 de subiecți sănătoși, având un design cvasiexperimental longitudinal. Pacienții au fost evaluați clinic, imagistic și electrofiziologic prin studii de conducere nervoasă și electromiografie de suprafață atât inițial, cât și la 6 luni după tratamentul de reabilitare medicală. Acesta a fost alcătuit din proceduri de balneoterapie, electroterapie, termoterapie și kinetoterapie.

Comparativ cu lotul martor, pacienții au fost semnificativ mai vârstnici și au prezentat un indice de masă corporală mai mare, precum și o prevalență mai crescută a hipertensiunii arteriale și a diabetului zaharat. Din punct de vedere clinic, intensitatea durerii s-a redus semnificativ după tratamentul de reabilitare medicală, scorul median VAS scăzând de la 5, cu interval intercuartilic între 4 și 7, la 3, cu interval intercuartilic între 2 și 4, diferența fiind semnificativă statistic, cu $p < 0.001$. Reducerea mediană estimată a fost de 2 puncte. În plus, ameliorarea durerii a fost mai mare la pacienții cu radiculopatie decât la cei fără radiculopatie, cu $p < 0.001$.

Analiza transversală a parametrilor studiilor de conducere nervoasă a evidențiat diferențe semnificative între lotul de pacienți și lotul martor. Pentru nervul tibial drept, latența distală a fost de 3.40 față de 2.50 ms, latența reziduală de 1.42 față de 1.10 ms, amplitudinea CMAP de 8.70 față de 13.10 mV, iar viteza de conducere de 45.10 față de 48.40 m/s, toate diferențele fiind semnificative statistic, cu valori p între 0.003 și < 0.001 . Pentru nervul peronier, latența reziduală a fost semnificativ crescută, iar amplitudinea CMAP și viteza de conducere au fost semnificativ reduse bilateral, cu valori p între 0.009 și < 0.001 . Analiza de regresie liniară multivariabilă, ajustată pentru vârstă, sex, indice de masă corporală și comorbidități, a confirmat persistența acestor diferențe.

Electromiografia de suprafață a mușchiului tibial anterior a arătat, la momentul inițial, scoruri semnificativ mai reduse pentru amplitudine și patern de recrutare la pacienți comparativ cu subiecții sănătoși, cu diferențe mediane de 2 până la 3 puncte și valori $p < 0.001$.

După tratamentul de reabilitare medicală, analiza longitudinală a evidențiat îmbunătățiri semnificative pentru toți parametrii studiilor de conducere nervoasă. Pentru nervul tibial și nervul peronier s-au observat reduceri ale latențelor și creșteri ale amplitudinii și vitezei de conducere bilateral, toate $p \leq 0.001$. În mod similar, electromiografia de suprafață a evidențiat o ameliorare a activării musculare, scorurile pentru paternul de recrutare crescând de la 2 la 3 bilateral, iar amplitudinea îmbunătățindu-se semnificativ, cu $p = 0.001$ pe partea dreaptă și 0.004 pe partea stângă.

Rezultatele au confirmat ipoteza studiului, demonstrând că pacienții cu spondiloză lombară prezintă modificări neurofuncționale comparativ cu subiecții sănătoși și că tratamentul multimodal de reabilitare medicală este asociat atât cu ameliorare clinică a durerii, cât și cu îmbunătățiri obiective ale funcției neuromusculare. Corelațiile dintre modificările imagistice și cele electrofiziologice au fost limitate, ceea ce susține ideea că imagistica și evaluarea neurofuncțională explorează dimensiuni complementare ale bolii.

STUDIUL 3: Efectele kinetoterapiei și balneoterapiei cu CO₂ la pacienții cu hipertensiune arterială și spondiloză lombară

Al treilea studiu a avut ca obiectiv evaluarea modificărilor parametrilor cardiovasculari la pacienții cu tensiune arterială normal înaltă și hipertensiune arterială asociate cu spondiloză lombară și patologie discală intervertebrală, după aplicarea unui program de reabilitare medicală bazat pe balneoterapie cu CO₂ și kinetoterapie. Studiul a avut un design prospectiv de tip pre–post intervențional și a inclus 32 de pacienți.

Lotul a fost format din 13 pacienți cu tensiune arterială normal înaltă, 14 cu hipertensiune arterială stadiul I și 5 cu hipertensiune arterială stadiul II. Toți participanții prezentau spondiloză lombară și patologie discală intervertebrală fără deficit neurologic clinic. Evaluarea s-a realizat la începutul tratamentului de reabilitare medicală și după 14 zile de intervenție, incluzând măsurarea tensiunii arteriale sistolice și diastolice, a frecvenței cardiace, a saturației periferice a oxigenului, a intensității durerii prin scala VAS și a stării generale de sănătate prin chestionarul EQ-5D-5L.

Protocolul de tratament a inclus băi cu apă minerală carbogazoasă, mofete și un program standardizat de kinetoterapie. Exercițiile au fost adaptate particularităților cardiovasculare și musculoscheletale ale pacienților și au inclus exerciții de mobilizare, exerciții pentru stimularea metabolismului muscular și reducerea rezistenței periferice, antrenament aerob pe cicloergometru, exerciții de stabilizare lombară și elemente de educație posturală.

La nivelul întregului lot, tensiunea arterială sistolică a scăzut de la 138.91 ± 16.64 mmHg la 120.06 ± 14.68 mmHg, iar tensiunea arterială diastolică de la 82.25 ± 9.43 mmHg la 69.81 ± 6.85 mmHg, ambele modificări fiind semnificative statistic, cu $p < 0.001$. Frecvența cardiacă și saturația periferică a oxigenului nu au prezentat modificări semnificative la nivelul întregului grup. În analiza pe subgrupuri, pacienții cu tensiune arterială normal înaltă și cei cu hipertensiune arterială de gradul I au prezentat reduceri semnificative ale tensiunii arteriale sistolice și diastolice, iar la pacienții cu hipertensiune de gradul al II-lea s-a observat o reducere semnificativă mai ales a tensiunii sistolice și o creștere semnificativă a SpO_2 , cu $p = 0.004$.

În paralel, durerea lombară s-a ameliorat semnificativ, scorul VAS scăzând de la 6.50 ± 1.16 la 3.37 ± 0.83 , cu $p < 0.001$. De asemenea, toate domeniile chestionarului EQ-5D-5L au înregistrat îmbunătățiri semnificative după tratament, cu $p < 0.001$ pentru mobilitate, autoîngrijire, activități uzuale, durere-disconfort și anxietate-depresie. Aceste rezultate sugerează că intervenția multimodală a avut efecte favorabile nu doar asupra parametrilor cardiovasculari, ci și asupra durerii și calității vieții.

Rezultatele au susținut ipoteza studiului, demonstrând că balneoterapia cu dioxid de carbon asociată kinetoterapiei influențează favorabil parametrii cardiovasculari și statusul clinic al pacienților cu hipertensiune arterială și patologie degenerativă lombară. Deși lipsa unui grup de control limitează interpretarea cauzală a rezultatelor, datele obținute susțin utilitatea acestei abordări în cadrul programelor de reabilitare medicală.

STUDIUL 4: Adaptări biomecanice musculare specifice după tratamentul de reabilitare medicală la pacienții cu spondiloză cervicală: studiu pilot

Al patrulea studiu a avut ca obiectiv evaluarea modificărilor proprietăților biomecanice musculare și a forței de prehensiune manuală la pacienții cu spondiloză cervicală, înainte și după aplicarea unui program standardizat de reabilitare medicală cu durată de 14 zile.

Studiul a avut un design observațional de tip pre–post intervențional și a inclus 23 de pacienți diagnosticați cu spondiloză cervicală. Evaluarea a vizat musculatura cervicală și a centurii scapulohumerale, fiind selectați mușchii trapez superior, deltoid și pectoral mare datorită rolului lor important în controlul postural și în adaptările compensatorii asociate spondilozei cervicale. Proprietățile biomecanice musculare au fost investigate utilizând dispozitivul MyotonPRO, iar forța de prehensiune manuală a fost măsurată cu ajutorul unui dinamometru portabil Hoggan microFET 2.

Protocolul terapeutic aplicat tuturor participanților a inclus balneoterapie cu apă minerală carbogazoasă, electroterapie de tip TENS, ultrasunet, termoterapie și un program de kinetoterapie compus din exerciții active de mobilizare cervicală, stretching, exerciții izometrice și exerciții de stabilizare scapulohumerală. Evaluările au fost realizate înaintea începerii tratamentului și la finalul celor 14 zile de reabilitare medicală.

Rezultatele au evidențiat modificări biomecanice diferențiate în funcție de mușchiul examinat. La nivelul mușchiului deltoid drept s-a observat o reducere semnificativă a frecvenței, de la 14.86 ± 2.53 la 13.50 ± 1.27 Hz, cu $p = 0.034$, și a rigidității, cu $p = 0.014$, sugerând scăderea tonusului de repaus și a rezistenței pasive. Pentru deltoidul stâng, modificările nu au fost semnificative statistic. În cazul trapezului superior, frecvența și rigiditatea nu s-au modificat semnificativ, însă decrementul a scăzut bilateral, cu $p = 0.049$ pe partea dreaptă și 0.042 pe partea stângă, ceea ce indică o îmbunătățire a elasticității musculare. Timpul de relaxare al trapezului superior stâng a avut o tendință de modificare, fără atingerea pragului de semnificație statistică.

Mușchiul pectoral mare a prezentat cele mai evidente modificări. Pe partea dreaptă s-a observat o creștere semnificativă a frecvenței, cu $p = 0.008$, o reducere semnificativă a timpului de relaxare, cu $p = 0.004$, o reducere a creep-ului, cu $p = 0.004$, și o scădere a decrementului, cu $p < 0.001$. Pe partea stângă au fost observate îmbunătățiri semnificative ale timpului de relaxare cu $p = 0.031$, ale creep-ului cu $p = 0.034$, și ale decrementului cu $p = 0.001$. Acest profil a sugerat o adaptare funcțională complexă, cu îmbunătățirea elasticității și a capacității de relaxare, asociată cu rolul stabilizator al musculaturii scapulohumerale.

Forța de prehensiune manuală a crescut bilateral după tratament. La nivelul membrului superior drept, media a crescut de la 338.91 ± 100.12 N la 364.51 ± 99.34 N, iar la membrul superior stâng de la 332.93 ± 106.20 N la 350.88 ± 105.22 N. Aceste date sugerează o ameliorare a performanței neuromusculare globale a membrului superior.

Rezultatele au susținut ipoteza studiului, demonstrând că tratamentul de reabilitare medicală determină modificări obiective ale proprietăților biomecanice musculare la pacienții

cu spondiloză cervicală. Modificările observate au evidențiat un răspuns muscular diferențiat, cu reducerea tonusului și rigidității la unii mușchi și adaptări funcționale stabilizatoare la alții. Deși studiul are limite legate de dimensiunea eșantionului și de absența unui grup de control, rezultatele susțin valoarea metodelor obiective de evaluare biomecanică în aprecierea răspunsului la tratament.

STUDIUL 5: Evaluări neurofuncționale în spondiloza cervicală: rezultate după tratamentul de reabilitare medicală

Al cincilea studiu a avut ca obiectiv evaluarea modificărilor parametrilor neurofuncționali ai membrului superior la pacienții cu spondiloză cervicală, prin utilizarea studiilor de conducere nervoasă și a electromiografiei de suprafață, precum și analiza relației dintre acești parametri și caracteristicile clinice și imagistice ale bolii. În același timp, s-a urmărit compararea rezultatelor pacienților cu cele ale unui lot de subiecți sănătoși și evaluarea evoluției parametrilor neurofuncționali la șase luni după inițierea tratamentului de reabilitare medicală.

Studiul a avut un design cvasiexperimental, nerandomizat, și a inclus 41 de pacienți cu diagnostic de spondiloză cervicală și 25 de subiecți sănătoși în lotul martor. Evaluările au fost realizate inițial la ambele loturi, iar în lotul de pacienți au fost repetate la șase luni după aplicarea programului standardizat de reabilitare medicală. Acesta a avut caracter multimodal și a inclus proceduri de balneoterapie, electroterapie, ultrasunet, termoterapie și kinetoterapie orientată către reducerea durerii, îmbunătățirea mobilității cervicale și optimizarea funcției neuromusculare a centurii scapulohumerale și a membrului superior.

Pacienții au fost semnificativ mai vârstnici decât martorii, cu o vârstă medie de 57.02 ± 11.74 ani față de 45.24 ± 13.21 ani, cu $p < 0.001$, și au prezentat un indice de masă corporală mai mare cu $p = 0.031$. În lotul de pacienți, durata mediană a simptomelor a fost de 6 luni, iar radiculopatia a fost prezentă la 80.5% dintre subiecți, fiind asociată cu o durată semnificativ mai mare a simptomatologiei cu $p < 0.001$.

Durerea s-a ameliorat semnificativ după programul de reabilitare medicală, scorul VAS scăzând cu o diferență mediană estimată de 2.5 puncte, cu $p < 0.001$. Tipul leziunii structurale a influențat răspunsul terapeutic, astfel încât reducerea durerii a fost mai mare la pacienții cu discopatie cervicală comparativ cu cei cu hernie de disc, cu $p = 0.031$, în timp ce prezența radiculopatiei nu a influențat semnificativ variația scorului VAS cu $p = 0.594$.

Analiza transversală a studiilor de conducere nervoasă a evidențiat modificări electrofiziologice semnificative la pacienții cu spondiloză cervicală comparativ cu lotul martor. La nivelul nervului median drept, latența distală a fost de 3.10 față de 2.10 ms în lotul martor, iar pe partea stângă de 3.00 față de 1.90 ms, ambele diferențe fiind semnificative, cu p ajustat < 0.001 . Latența reziduală a fost, de asemenea, crescută bilateral pentru nervul median, p ajustat < 0.001 , iar amplitudinea CMAP a fost semnificativ redusă pentru toți nervii evaluați bilateral, p ajustat < 0.001 . Viteza de conducere motorie a fost semnificativ mai mică în special pentru nervul median bilateral, cu p ajustat = 0.002 pe dreapta și < 0.001 pe stânga. Acest profil a sugerat o afectare neurofuncțională predominantă la nivelul nervului median, compatibilă cu implicarea segmentelor cervicale inferioare și cu afectarea funcției motorii distale a membrului superior.

Analiza multivariabilă ajustată pentru vârstă, sex, indice de masă corporală și comorbidități a confirmat persistența diferențelor dintre pacienți și lotul martor, în special pentru nervul median bilateral, unde s-au menținut semnificative creșterea latențelor, reducerea amplitudinii și scăderea vitezei de conducere, cu valori p între 0.016 și < 0.001 .

Evaluarea electromiografică de suprafață a arătat că pacienții au prezentat o reducere semnificativă a amplitudinii semnalului și a paternului de recrutare pentru toți mușchii analizați bilateral. De exemplu, pentru mușchiul abductor pollicis brevis drept și stâng, amplitudinea mediană a fost de 2, comparativ cu 5 în lotul martor, cu p ajustat < 0.001 , iar paternul de recrutare a fost, de asemenea, semnificativ redus, cu p ajustat < 0.001 . Rezultate similare au fost observate și pentru mușchii abductor digiti minimi și extensor digitorum. Durata semnalului electromiografic a rămas normală și nu a diferențiat loturile.

Analiza longitudinală a parametrilor studiilor de conducere nervoasă a evidențiat o ameliorare semnificativă la 6 luni după tratamentul de reabilitare medicală. Latența distală a scăzut bilateral pentru toți nervii examinați, cu p ajustat < 0.023 , iar latența reziduală s-a redus semnificativ pentru nervii median și ulnar, cu p ajustat < 0.001 . Amplitudinea CMAP a crescut semnificativ pentru toți nervii analizați bilateral, cu p ajustat între 0.004 și < 0.001 , iar viteza de conducere motorie s-a ameliorat semnificativ pentru toți nervii examinați, cu p ajustat între 0.010 și < 0.001 .

Electromiografia de suprafață a evidențiat, de asemenea, o îmbunătățire a activării musculare după tratamentul de reabilitare medicală. La nivelul mușchiului abductor pollicis brevis, amplitudinea semnalului a crescut bilateral de la o mediană de 2 la 3 sau 4, iar paternul de recrutare de la 2 la 3, toate diferențele fiind semnificative, cu p ajustat = 0.006. Pentru mușchiul abductor digiti minimi, îmbunătățirea a fost mai evidentă pentru paternul de recrutare,

cu p ajustat < 0.010 , iar pentru extensor digitorum modificările au fost mai heterogene, dar pe partea dreaptă amplitudinea și paternul au crescut semnificativ, cu p ajustat $= 0.044$, respectiv 0.028 .

Un rezultat important al studiului a fost reprezentat de corelațiile semnificative dintre amplitudinea CMAP și parametrii electromiografici de suprafață, în special la nivelul nervului median. Pentru mușchiul abductor pollicis brevis drept, corelația dintre CMAP și amplitudinea sEMG a fost puternică, cu coeficient Spearman de 0.632 și $p < 0.001$, iar corelația cu paternul de recrutare a fost de 0.626 , tot cu $p < 0.001$. La nivelul nervului ulnar, corelațiile au fost moderate, dar semnificative statistic, susținând relația funcțională dintre integritatea conducerii nervoase și activitatea musculară periferică.

În schimb, severitatea modificărilor imagistice nu s-a corelat constant cu modificările electrofiziologice sau cu răspunsul la tratament. Deși analiza de regresie a arătat că severitatea imagistică a fost asociată negativ cu modificarea amplitudinii CMAP a nervului median drept, cu $p = 0.019$, corelațiile globale dintre severitatea RMN și răspunsul neurofiziologic au fost slabe și nesemnificative. În mod similar, ameliorarea durerii nu s-a corelat semnificativ cu modificările amplitudinii CMAP sau ale paternului de recrutare, sugerând că evoluția clinică și recuperarea neurofuncțională nu sunt complet suprapuse.

Rezultatele au susținut ipoteza de lucru și au demonstrat că pacienții cu spondiloză cervicală prezintă alterări electrofiziologice semnificative comparativ cu subiecții sănătoși și că aceste modificări pot evolua favorabil în timp sub influența tratamentului de reabilitare medicală. Afectarea a fost mai evidentă la nivelul nervului median, iar asocierea studiilor de conducere nervoasă cu electromiografia de suprafață a oferit o perspectivă funcțională mai completă asupra deficitului neuromuscular. În consecință, utilizarea combinată a acestor metode poate aduce informații obiective utile atât pentru aprecierea impactului funcțional al spondilozei cervicale, cât și pentru monitorizarea răspunsului la tratamentul de reabilitare medicală.

CONCLUZII GENERALE

Rezultatele acestei teze arată că bolile degenerative vertebrale nu se limitează la modificări structurale, ele reprezentând un ansamblu complex de adaptări neurofuncționale și biomecanice distincte în funcție de segmentul afectat. Astfel, în spondiloza cervicală afectarea a fost predominantă la nivelul nervului median, iar în spondiloza lombară la nivelul nervilor tibial și peronier, conturând tipare diferite de disfuncție neuromusculară.

Tratamentul multimodal de reabilitare medicală a determinat nu doar reducerea durerii, ci și îmbunătățiri obiective ale funcției neuromusculare, evidențiate prin modificări electrofiziologice, o activare musculară mai eficientă și adaptări favorabile ale proprietăților biomecanice. Aceste rezultate susțin utilitatea evaluării neurofuncționale în aprecierea răspunsului la tratament.

Contribuția principală a tezei constă în evidențierea rolului evaluării neurofuncționale și biomecanice ca instrument complementar imagisticii, necesar pentru aprecierea impactului funcțional și în monitorizarea tratamentului. În același timp, rezultatele deschid direcții viitoare de cercetare privind validarea acestora pe loturi mai mari, precum și analiza diferențiată a componentelor tratamentului de reabilitare medicală, respectiv kinetoterapia, fizioterapia, balneoterapia.