Yaresko O. V.: 0000-0002-2037-5964 [C]

Conflict of interest / Конфлікт інтересів:
The authors declare no conflict of interest. / Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Corresponding author / Адреса для кореспонденції
Karpinsky Mykhaylo Yuriyovych / Карпінський Михайло Юрійович
Sytenko Institute of Spine and Joint Pathology National Academy of Medical Sciences of Ukraine / ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М.І.Ситенка НАМН України»
Ukraine, 61024, Kharkiv, 80 Pushkinska str. / Адреса: Україна, 61024, м. Харків, вул. Пушкінська 80
Tel.: 0675714863 / Тел.: 0675714863
E-mail: korab.karpinsky9@gmail.com

A – Work concept and design, **B** – Data collection and analysis, **C** – Responsibility for statistical analysis, **D** – Writing the article, **E** – Critical review, **F** – Final approval of the article / **A** – концепція роботи та дизайн, **B** – збір та аналіз даних, **C** – відповідальність за статичний аналіз, **D** – написання статті, **E** – критичний огляд, **F** – остаточне затвердження статті.

Received 26.11.2022 / Стаття надійшла 26.11.2022 року
Accepted 01.05.2023 / Стаття прийнята до друку 01.05.2023 року

DOI 10.29254/2077-4214-2023-2-169-345-352
UDC 616.728.3-092.9

[1]Khasawneh A. A. M., [2]Karpinska O. D.

FORMATION OF IMMOBILIZATION CONTRACTURE OF THE KNEE JOINT IN LABORATORY ANIMALS AND RESTORATION OF ITS FUNCTIONALITY UNDER THE INFLUENCE OF LOW-FREQUENCY VIBRATION (experimental study)

[1]National Pirogov Memorial Medical University (Vinnytsya, Ukraine)
[2]Sytenko Institute of Spine and Joint Pathology National Academy of Medical Sciences of Ukraine (Kharkiv, Ukraine)

helen.karpinska@gmail.com

Joint contractures are loss of passive range of motion of the diarthrosis joint. Immobilization contractures are one of the common types of joint contractures. The study aimed to determine the effect of immobilization on the formation of knee joint contracture in laboratory animals (rats) and assess the possibility of restoring mobility using low-frequency vibration during and after immobilization. Three groups of laboratory rats, ten animals each, were studied: I – 4 weeks of immobilization, 4 weeks of observation without rehabilitation measures; II – 4 weeks of immobilization, 4 weeks of low-frequency therapy; III – 4 weeks of immobilization, and 4 weeks in a row rats received a course of vibration therapy. The knee joint range of motion was measured weekly. Vibration development was carried out in the mode of 20 Hz with an amplitude of 1.5 mm. The rapid growth of contracture occurs from the 2nd week of immobilization. In the animals of the I and II groups, the process happened in the same way. In the III group, contractures were formed by the 4th week, but significantly less than in the previous groups. After the removal of immobilization, a slow increase in movements was observed in the first group, which did not reach average values by the 4th week after the removal of immobilization. Group II rats had a rapid reduction in contracture, and recovery occurred by week 4. In the III group, recovery was complete in 2 weeks. Low-frequency vibration reduces the impact of immobilization and significantly accelerates the recovery of the joint after its completion.

Key words: *laboratory animals, experiment, contracture, knee joint, vibration.*

Connection of the publication with planned research works.

The research was carried out with the scientific topic “To study the mechanisms of formation of immobilization contractures and to investigate the effect of low-frequency vibration on the restoration of joint function”, state registration number 0121U111555.

Introduction.

The term “joint contractures” describes the loss of the passive range of motion of diarthrosis joints, the most common and mobile type of joint. Measuring the passive or active range of motion of a contracture joint is critical to assessing the importance of joint contractures [1]. Joint contractures caused by immobility have both myogenic and arthrogenic components. In a rat model, less than two weeks of immobilisation periods produced contractures associated with muscle restriction, and the contractures were reversible after remobilisation. In the case of immobilisation for four or more weeks, the joint structures contributed more to limiting the range of motion, and the resulting contractures were irreversible [2, 3].

The aim of the study.

To determine the impact of immobilization on the formation of contracture of the knee joint in laboratory animals (rats) and to evaluate the possibility of restoring mobility in the case of using low-frequency vibration during and after immobilization.

Object and research methods.

Table 1 – Control measurements of the volume of movements in rats before the start of the experiment

Control measurement	Volume of movements, degree		
	Extension	Flexion	Volume of movements
M±SD min÷max	32±2 29÷35	151±1 149÷153	119±2 117÷122

The experimental study was conducted on 30 nonlinear white male rats aged six months.

Experimental studies were carried out in compliance with the requirements of humane treatment of experimental animals, regulated by the Law of Ukraine "On the Protection of Animals from Cruelty" (№ 3447-IV dated 21.02.2006) and the European Convention on the Protection of Vertebrate Animals Used for Experimental and Other scientific goals (Strasbourg, March 18, 1986).

Before immobilization, the angle of extension and flexion of the knee joint was measured for all animals. Hindlimb immobilization at an angle of 140° was performed by holding it under a plaster cast and an elastic bandage in unanesthetized rats.

Rats were divided into three groups of 10 animals each: Group I – 4 weeks of immobilization, 4 weeks of observation without rehabilitation measures; II group – 4 weeks of immobilization, 4 weeks of low-frequency therapy; Group III – 4 weeks of immobilization and 4 weeks in a row rats received a course of vibration therapy.

Vibration development of the immobilized knee joint was performed using a vibration stand in the mode of 20 Hz with an amplitude of 1.5 mm.

The immobilization bandage was removed, and the animal's limb was shaved from the fur to determine the amount of movement in the animal. Markers were placed on the hip, knee and hock joints. The animal was placed on a special stand, and the limb was hanging down. To determine the angle of flexion, the hind limb was maximally flexed. A 50-g weight was tied to the hock joint to determine the extension. The range of motion was measured from photographs.

A similar procedure was performed for the opposite limb. Measurements were carried out weekly, four times during immobilization and four times after the end of immobilization.

We determined the angle of extension, the angle of flexion, and based on these data, the amount of movement. Contracture was defined as the difference between the measured volume of movements and the volume of movements before the start of the experiment for each animal separately.

The experimental data were processed statistically. The mean (M) and its standard error (SD), minimum and maximum values per group were determined. Comparisons between opposite limbs were performed using the T-test for repeated measurements, comparisons between experimental data and primary range of motion measurements were made using a one-sample T-test, and comparisons between groups were made using a one-way analysis of variance (ANOVA). Calculations were performed in the IBM SPSS Statistics 20.0 application program package.

Research results.

Before the start of the experiment, the rats were measured for the range of motion in the knee joint **(table 1).**

Movement volume was measured weekly. The dynamics of knee joint contracture formation in laboratory rats is shown in **table 2.**

Contracture on the 7th day of the experiment averaged 5° (from 0° to 13°). No noticeable difference between groups of animals and immobilized and opposite joints was found (p>>0.05).

On the 14th day of the experiment, an increase in the progression of mobility limitation in the knee joint of rats of groups I and II was observed. In the III group of rats, the formation of a contracture on the immobilized joint was not detected; in the animals of the I and II groups, a rather noticeable contracture was formed in the range of 20-25°, which was significantly more prominent than in the animals of the III group.

On the 21st day of the experiment, a significant increase in contracture was noted in animals of the I and II groups. The first signs of limitation of movements began to be observed in animals of the III group at an average of (12±4)°; in animals of I and II groups, the contracture reached 50°. In some animals of all groups, the phenomenon of mobility restriction on the opposite joint began to be noted – about 10° in animals of the I and II groups and about 7° in animals of the III group.

On the 28th day of the experiment, the animals of the I and II groups developed a contracture of the immobilized joint of more than 60°. On the opposite joint, the development of movement limitation in the range from 2° to 26° continued to be observed. In the III group of rats, the contracture of the immobilized joint was smaller and averaged (24±6)°. On the opposite joint, the restriction of movement reached (13±8)°.

After 28 days, immobilization was removed from the animals. And first group of animals was kept free in the future. The second group of animals underwent daily vibration procedures for 10 minutes. Group III continued the daily course of vibration development in the same mode.

The dynamics of the restoration of mobility of the knee joint are shown in **table 3.**

Table 2 – Dynamics of contracture formation of the knee joint of rats during immobilization

Group	Terms of immobilization											
	7th day			14th day			21st day			28th day		
	Im	C	t/p	Im	C	t/p	Im	C	t/p	Im	C	t/p
I	5±5 0÷13	5±3 0÷9	0,478 0,644	27±7 12÷38	5±2 3÷8	9,557 0,001	54±6 47÷63	11±4 5÷17	23,292 0,001	63±6 54÷76	17±5 11÷26	16,674 0,001
II	5±3 0÷11	4±4 0÷11	0,739 0,479	20±9 3÷35	5±3 1÷9	6,182 0,001	54±6 47÷63	11±5 3÷18	17,276 0,001	62±8 46÷75	14±8 2÷25	13,217 0,001
III	4±4 0÷8	3±3 0÷7	1,186 0,266	5±4 0÷12	3±2 0÷7	2,337 0,044	12±4 8÷21	7±2 2÷11	4,295 0,002	24±6 14÷34	13±8 1÷25	4,623 0,001
F p	1,604 0,220	0,790 0,464	-	24,518 0,001	2,806 0,078		6,913 0,004	3,528 0,044		0,915 0,413	0,941 0,403	

A week later, on the 35th day of the experiment, the angles in the knee joint were measured in the animals.

A decrease in knee joint contracture was observed in all animals. The most significant changes were observed in the III group of animals. The limitation of movements was, on average (14±4)°. The worst results were in the I group – (59±6)°; in the II group – (40±7)°. The limitation of movements on the opposite limb decreased sharply to 5-6°.

Table 3 – Dynamics of changes in knee joint contracture in laboratory rats after removal of immobilization

Group	Observation period after removal of immobilization											
	35 day			42 day			49 day			56 day		
	Im	C	t/p	Im	C	t/p	Im	C	t/p	Im	C	t/p
I	59±6 51÷67	6±4 2÷13	25,286 0,001	52±7 44÷70	5±3 1÷11	15,217 0,001	37±4 31÷42	4±3 0÷7	23,034 0,001	34±4 26÷40	3±3 0÷8	18,299 0,001
II	40±7 27÷49	5±5 -1÷12	14,085 0,001	30±8 18÷43	6±5 -2÷11	7,245 0,001	14±6 7÷27	2±2 -1÷5	6,120 0,001	7±4 0÷13	2±3 -2÷7	3,638 0,005
III	14±4 7÷20	4±3 -1÷10	6,484 0,001	12±5 2÷19	4±3 -1÷9	6,551 0,001	7±5 0÷15	2±3 -3÷8	4,680 0,001	1±3 -2÷8	1±2 -3÷3	0,345 0,738
F p	157,850 0,001	0,786 0,466		85,855 0,001	0,592 0,560		100,266 0,001	1,872 0,173		221,903 0,001	2,329 0,117	

On the 42nd day of the experiment, slow recovery of movements was observed in the animals of the I group – (52±7)°; in the II group, the contracture decreased to (30±8)°; in the III group, the restrictions were minimal and averaged (12±5)°. The limitation of mobility in the opposite joint remained without noticeable changes.

On the 3rd week after the removal of immobilization (49 day), in most of the animals of the III group, full recovery of mobility was noted, with some restrictions remaining up to 15°, and joint mobility was restored on the opposite limb. Good recovery dynamics up to (14±6)° were observed in the II group. In the I group, the changes were slow – (37±4)°.

At the end of the experiment (56 day), all animals of the III group had a full recovery of movements. In the II group, only some rats had a slight mobility restriction. In the I group, a rather pronounced contracture was noted at (34±4)° with no limitation of movements on the opposite joint.

Discussion of research results.

This study aimed to determine the formation of immobilisation contracture of the knee joint and identify the effects of limiting the joint's range of motion after immobilisation in laboratory rats.

Four weeks after the removal of immobilisation under the condition of vibration development both during the immobilisation process and after the removal of immobilisation (III group), a complete restoration of the range of motion in the joint was observed. In animals that underwent vibrostimulation only after immobilisation removal (II group), the average residual contracture was (7±4)°. In animals that were kept after immobilisation removal without rehabilitation (I group), the contracture remained within (34±4)°.

The obtained data coincide with the results of other authors. Chimoto et al. [4] immobilized rat knee joints with an internal fixator while the knee joint was flexed at 150° to develop an animal model of flexion contracture and investigated the progression of arthrogenic limitation of motion after immobilization. The study showed that joint contracture progressed rapidly up to 8 weeks. Although our experiment lasted only four weeks, we observed an increase in contracture each week. Similar results were reported by other authors [5].

According to research, full recovery of joint movements after 30 days of immobilization does not occur for eight weeks [6] according to Sato Y. et al. [7], only on the 32nd week, when the animals are kept freely, it is possible to talk about the restoration of movements.

During the experiment, it was found that a rapid increase in movement limitation occurs starting from the 2nd week of immobilisation. In the animals of groups I and II, which were kept during the immobilisation period, the formation of movement limitation occurred in the same way. In group III, movement limitation occurred slowly during the first three weeks of immobilisation, and noticeable changes were observed only in the 4th week, but significantly less than in groups I and II.

After removal of immobilisation in animals, normalisation of extension occurs. In the 1st group, in which the recovery took place naturally, that is, without external intervention, a slow increase in movements was observed. On the 4th week after the removal of immobilisation, following the dynamics of recovery, a full return to normal extension can be expected sometime after the 10th week. In the rats of the II group, after immobilisation removal, vibration development was carried out, a rapid decrease in contracture was observed, and a return almost to the original values, judging by the dynamics of recovery for 5-6 weeks.

In the animals of the III group, a noticeable contracture began to form only after the 3rd week of immobilization. It did not reach the level of the I and II groups. Therefore, recovery after removing immobilization was complete and relatively fast – in 2 weeks.

Analysis of contracture, or limitation of movements in the joint, provides more valuable information for studying joint changes. Therefore, immobilization of the knee joint **(fig.)** in the I and II groups of animals gave a contracture of 60°, while in the III group, the restrictions did not exceed 25°. And accordingly, the recovery in the groups with vibration development was rapid. In the III group, full recovery was achieved; in the II group – recovery of up to 5° residual contracture; in the I group, we observed a residual contracture of almost 35°, which is more than the formed immobilization contracture in the III the group.

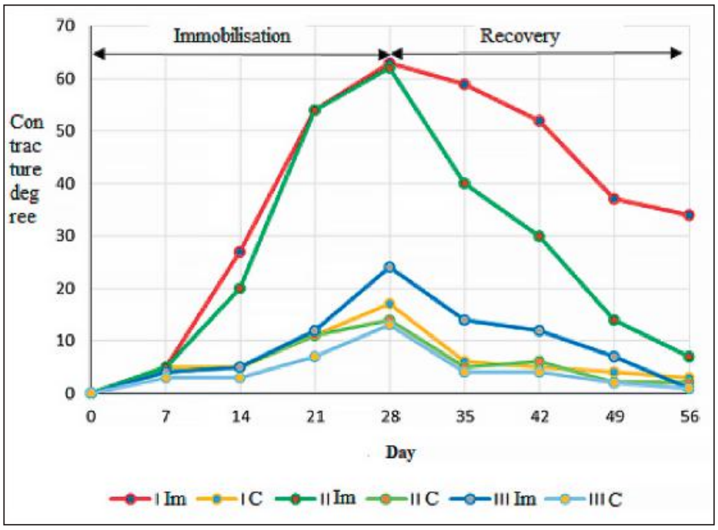

Figure – Dynamics of changes in the contracture of the knee joint of rats during the experiment.

During the experiment, it was found that during the progression of the contracture on the immobilized joint, there is a limitation of movements on the opposite side. We associate the decrease in the volume of movements, mainly extension on the non-immobilized limb, with the fact that to maintain balance during movement without full support, rats must reduce their body height, thereby bending the supporting limb. Prolonged locomotion in this way leads to a functional reduction in the range of motion (i.e. disuse contracture), which quickly disappears when normal locomotion is restored. We did not specifically study this aspect, and it may be the subject of further research.

The reason why the animals did not fully restore the range of motion when vibration was used can be explained by the fact that, after all, the limitation of mobility also affects the condition of the muscles, and the short-term effect of vibration cannot fully replace physical exertion, but only restore hydrodynamics joint due to improved blood circulation. It is not enough to maintain and restore muscle strength.

We found no research data on the effect of low-frequency vibration on the restoration of joint mobility in laboratory animals. Therefore, it can be assumed that the obtained data will become the basis of a new direction for studying the influence of low-frequency vibration, as well as an impetus for developing devices for conducting more narrowly focused experiments.

Conclusions.

Low-frequency vibration allows you to reduce the impact of immobilization and significantly accelerate the recovery of the joint after its completion. It should be started as early as possible if it is impossible to conduct vibrotherapy during immobilization.

Prospects for further research.

It should be noted that today there are few studies on the effect of low-frequency vibration on the development of immobilization contractures and their subsequent treatment. The obtained data require further studies with longer periods of immobilization, options for immobilization, and modes of vibrational impact on the joints.

DOI 10.29254/2077-4214-2023-2-169-345-352
УДК 616.728.3-092.9

[1]Хасавнех А. А. М., [2]Карпінська О. Д.

ФОРМУВАННЯ ІММОБІЛІЗАЦІЙНОЇ КОНТРАКТУРИ КОЛІННОГО СУГЛОБА У ЛАБОРАТОРНИХ ТВАРИН ТА ВІДНОВЛЕННЯ ЙОГО ФУНКЦІОНАЛЬНОСТІ ПІД ВПЛИВОМ НИЗЬКОЧАСТОТНОЇ ВІБРАЦІЇ (експериментальне дослідження)

[1]Вінницький національний медичний університет ім. М.І. Пирогова МОЗ України (м. Вінниця, Україна)
[2]ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М.І. Ситенка НАМН України» (м. Харків, Україна)
helen.karpinska@gmail.com

Суглобові контрактури – це втрати пасивного діапазону рухів діартрозних суглобів. Одним з поширених видів суглобових контрактур являються іммобілізаційні контрактури. Метою дослідження було визначити вплив іммобілізації на формування контрактури колінного суглоба у лабораторних тварин (щурів) та оцінити можливість відновлення рухливості у разі використанні низькочастотної вібрації в процесі іммобілізації та після її завершення. Досліджували 3 групи лабораторних щурів по 10 тварин: I – 4 тижні іммобілізації, 4 тижні спостереження без реабілітаційних заходів; II – 4 тижні іммобілізації, 4 тижні проводилась низькочастотна терапія; III – 4 тижні іммобілізації та 4 тижні поспіль щури отримували курс вібраційної терапії. Щотижня вимірювали обсяг рухів колінного суглобу. Вібраційна розробка проводилася в режимі 20 Гц з амплітудою 1,5 мм. Стрімке наростання контрактури відбувається з 2 тижня іммобілізації. У тварин I та II груп процес відбувався однаково, в III групі контрактури сформувалися на 4 тиждень, але значущо менше, ніж в попередніх групах. Після зняття іммобілізації в I групі спостерігали повільне збільшення рухів, які на 4 тиждень після зняття іммобілізації не досягли нормальних значень. У щурів II групи відбувалося стрімке зменшення контрактури, і відновлення відбулося на 4 тиждень. В III групи відновлення було повним на 2 тижні. Низькочастотна вібрація дозволяє зменшити вплив іммобілізації і значно прискорити відновлення суглоба після її завершення.

Key words: *лабораторні тварини, експеримент, контрактура, колінний суглоб, вібрація.*

Зв'язок публікації з плановими науково-дослідними роботами.

Дослідження були виконані в рамках НДР «Вивчити механізми формування іммобілізаційних контрактур і дослідити вплив низькочастотної вібрації на відновлення функції суглобів», номер державної реєстрації 0121U111555.

Вступ.

Термін «суглобові контрактури» використовується для опису втрати пасивного діапазону рухів діартрозних суглобів, найбільш поширеного та рухомого типу суглобів. Вимірювання пасивного чи активного діапазону рухів суглоба з контрактурою є ключем до оцінки важливості контрактур суглобів [1]. Контрактури суглобів, викликані нерухливістю, мають як міогенний, і артрогенний компоненти. У моделі на щурах періоди іммобілізації менше двох тижнів викликали контрактури, які були пов'язані з м'язовим обмеженням, і контрактури були зворотними після ремобілізації. У разі іммобілізації протягом чотирьох і більше тижнів суглобові структури більше сприяли обмеженню обсягу рухів, і контрактури, що виникають в результаті, були незворотними [2, 3].

Мета дослідження.

Визначити вплив іммобілізації на формування контрактури колінного суглоба у лабораторних тварин (щурів) та оцінити можливість відновлення рухливості у разі використанні низькочастотної вібрації в процесі іммобілізації та після її завершення.

Об'єкт і методи дослідження.

Експериментальне дослідження було проведено на 30 нелінійних білих щурах-самцях віком 6 місяців.

Експериментальні дослідження було проведено з дотриманням вимог гуманного ставлення до піддослідних тварин, регламентованих Законом України «Про захист тварин від жорстокого поводження» (№ 3447-IV від 21.02.2006 р.) та Європейською конвенцією про захист хребетних тварин, які використовуються для дослідних та інших наукових цілей (Страсбург, 18.03.1986 р.).

Перед проведенням іммобілізації всім тваринам вимірювали кут розгинання та згинання колінного суглоба. Іммобілізація задньої кінцівки під кутом 140° була виконана шляхом її утримання під гіпсовою пов'язкою та еластичним бинтом у ненаркотизованих щурів.

Щури були поділені на 3 групи по 10 тварин: І група – 4 тижні іммобілізації, 4 тижні спостереження без реабілітаційних заходів; ІІ група – 4 тижні іммобілізації, 4 тижні проводилась низькочастотна терапія; ІІІ група – 4 тижні іммобілізації та 4 тижні поспіль щури отримували курс вібраційної терапії.

Вібраційну розробку іммобілізованого колінного суглоба виконували з використанням вібраційного стенду в режимі 20 Гц з амплітудою 1,5 мм.

Для визначення обсягу рухів у тварин іммобілізаційну пов'язку знімали, кінцівку тварини голили від шерсті. Ставили маркери на кульшовий, колінний та скакальний суглоби. Тварину укладали на спеціальну підставку, кінцівка звисала. Для визначення кута згинання задню кінцівку максимально згинали, для визначення розгинання до скакального суглоба прив'язували гирьку масою 50 г. Обсяги рухів вимірювали по фотознімкам.

Аналогічну процедуру виконували для протилежної кінцівки. Вимірювання проводили щотижня 4 рази в процесі іммобілізації та 4 рази після завершення іммобілізації.

Визначали кут розгинання, кут згинання, і за цими даними – обсяг рухів. Контрактура визначалась як різниця між виміряним обсягом рухів та обсягом рухів до початку експерименту для кожної тварини окремо.

Дані експерименту були оброблені статистично, визначали середнє (М) його стандартну похибку (SD), мінімальне та максимальне значення по групі. Порівняння між протилежними кінцівками проводили за допомогою Т-тесту для повторних вимірювань, порівняння між даними експерименту та первинним вимірюванням обсягу рухів – одновибіркового Т-тесту, порівняння між групами – однофакторного дисперсійного аналізу (ANOVA). Розрахунки проводили в пакеті прикладних програм IBM SPSS Statistics 20.0.

Результати дослідження.

Перед початком експерименту у щурів були проведені вимірювання обсягу рухів в колінному суглобі **(табл. 1)**.

Таблиця 1 – Контрольні вимірювання обсягу рухів у щурів перед початком експерименту

Контрольне вимірювання	Обсяг рухів, град		
	Розгинання	Згинання	Обсяг рухів
M±SD min÷max	32±2 29÷35	151±1 149÷153	119±2 117÷122

Вимірювання обсягу рухів проводили щотижня. Динаміка формування контрактури колінних суглобів у лабораторних щурів наведена в **табл. 2.**

Контрактура на 7 добу експерименту становила в середньому 5° (від 0° до 13°). Помітної різниці між групами тварин та іммобілізованим і протилежним суглобами не виявлено (p>>0,05).

На 14 добу експерименту спостерігали збільшення прогресування обмеження рухливості в колінному суглобі щурів І та ІІ груп. В ІІІ групі щурів формування контрактури на іммобілізованому суглобі не виявлено, у тварин І та ІІ груп сформувалася доволі помітна контрактура у межах 20-25°, яка значущо була більшою, ніж у тварин ІІІ групи.

На 21 добу експерименту у тварин І та ІІ груп відмічали суттєве збільшення контрактури. Перші ознаки обмеження рухів стали спостерігатися у тварин ІІІ групи в середньому (12±4)°, у тварин І та ІІ груп контрактура сягнула за 50°. У деяких тварин всіх груп стали відмічатися явища обмеження рухливості на протилежному суглобі – біля 10° у тварин І та ІІ груп, ' біля 7° у тварин ІІІ групи.

На 28 добу експерименту у тварин І та ІІ груп сформувалася контрактура іммобілізованого суглоба більше 60°, на протилежному суглобі продовжувалося спостерігатися розвиток обмеження рухів у межах від 2° до 26°. В ІІІ групі щурів контрактура іммобілізованого суглоба була меншою і становила в середньому (24±6)°, на протилежному суглобі обмеження рухів сягнуло (13±8)°.

Після 28 доби у тварин було знято іммобілізацію. І група тварин у подальшому вільно утримувалася. ІІ група тварин щоденно проходила вібраційні процедури по 10 хв. ІІІ група продовжувала щоденний курс вібророзробки в тому ж режимі.

Динаміка відновлення рухливості колінного суглоба наведена в **табл. 3.**

Через тиждень, на 35 добу експерименту у тварин були проведені вимірювання кутів у колінному суглобі.

У всі тварин спостерігалося зменшення контрактури колінного суглоба. Найбільші зміни спостерігалися в ІІІ групі тварин, обмеження рухів було в середньому (14±4)°, найгірші результати були в І групі – (59±6)°, у ІІ групі – (40±7)°. Різко зменшилося обмеження рухів на протилежній кінцівці до 5-6°.

На 42 добу експерименту у тварин І групи спостерігали повільне відновлення рухів – (52±7)°, в ІІ групі контрактура зменшилася до (30±8)°, в ІІІ групі обмеження були мінімальними і становили в середньому (12±5)°. Обмеження рухливості в протилежному суглобі залишалося без помітних змін.

На 3 тиждень після зняття іммобілізації (49 доба) у більшості тварин ІІІ групи відмічали повне відновлення рухливості із залишками у деяких обмежень до 15°, на протилежній кінцівці рухливість суглоба була відновлена. В ІІ групі спостерігалась гарна динаміка відновлення до (14±6)°, в І групі зміни були повільні – (37±4)°.

Таблиця 2 – Динаміка формування контрактури колінного суглоба щурів при іммобілізації

Група	Терміни іммобілізації											
	7 доба			14 доба			21 доба			28 доба		
	Ім	К	t/p	Ім	К	t/p	Ім	К	t/p	Ім	К	t/p
I	5±5 0÷13	5±3 0÷9	0,478 0,644	27±7 12÷38	5±2 3÷8	9,557 0,001	54±6 47÷63	11±4 5÷17	23,292 0,001	63±6 54÷76	17±5 11÷26	16,674 0,001
II	5±3 0÷11	4±4 0÷11	0,739 0,479	20±9 3÷35	5±3 1÷9	6,182 0,001	54±6 47÷63	11±5 3÷18	17,276 0,001	62±8 46÷75	14±8 2÷25	13,217 0,001
III	4±4 0÷8	3±3 0÷7	1,186 0,266	5±4 0÷12	3±2 0÷7	2,337 0,044	12±4 8÷21	7±2 2÷11	4,295 0,002	24±6 14÷34	13±8 1÷25	4,623 0,001
F p	1,604 0,220	0,790 0,464	-	24,518 0,001	2,806 0,078		6,913 0,004	3,528 0,044		0,915 0,413	0,941 0,403	

В процесі проведення експерименту було виявлено, що стрімке наростання обмеження рухів відбувається починаючи з 2 тижня іммобілізації. У тварин I та II груп, які утримувалися в період іммобілізації процес формування обмеження рухів відбувався однаково, в III групі перші 3 тижні іммобілізації обмеження рухів відбувалося повільно, і тільки на 4 тиждень спостерігалось помітні зміни, але значуще менше, ніж в I та II групах.

Після зняття іммобілізації у тварин відбувається нормалізація розгинання. В I групі, в якій відновлення проходило природним шляхом, тобто без зовнішнього втручання, спостерігали повільне збільшення рухів, на 4 тиждень після зняття іммобілізації простежуючи динаміку відновлення можна очікувати повного повернення до нормального розгинання десь після 10 тижня. У щурів II групи після зняття іммобілізації проводилась вібраційна розробка спостерігали стрімке зменшення контрактури, і повернення практично до первинних значень, судячи з динаміки відновлення на 5-6 тиждень.

У тварин III групи помітна контрактура почала формуватися тільки після 3 тижня іммобілізації, і недосягла рівня I та II груп, тому, відповідно, відновлення після зняття іммобілізації було повним та відносно швидким – за 2 тижні.

На кінець експерименту (56 доба) у тварин III групи відмічали повне відновлення рухів у всіх тварин, в II групі тільки у деяких щурів спостерігали незначне обмеження рухливості, в I групі відмічали доволі виражену контрактуру у (34±4)° при відсутності обмеження рухів на протилежному суглобі.

Обговорення результатів дослідження.

Мета цього дослідження полягала у визначенні формування іммобілізаційної контрактури колінного суглоба та виявленні ефектів обмеження діапазону руху суглобу після іммобілізації у лабораторних щурів.

Через 4 тижні після зняття іммобілізації за умови вібраційній розробки як в процесі іммобілізації, так і в після зняття іммобілізації (III група), спостерігали повне відновлення обсягу рухів в суглобі. У тварин, яким вібростимуляцію проводили тільки після зняття іммобілізації (II група) залишкова контрактура в середньому становла (7±4)°. У тварин, які утримувались після зняття іммобілізації без реабілітації (I група) контрактура залишалась у межах (34±4)°.

Отримані дані збігаються з результатами інших авторів. Chimoto et al [4] іммобілізували колінні суглоби щурів за допомогою внутрішнього фіксатора, коли колінний суглоб був зігнутий на 150°, щоб розробити тваринну модель контрактури згинального суглоба та досліджували прогресування артрогенного обмеження рухів після іммобілізації. Дослідження показало, що контрактура суглоба швидко прогресувала до 8 тижнів. Хоча наш експеримент тривав тільки 4 тижні, ми спостерігали наростання контрактури кожного тижня. Про аналогічні результати сповіщають інші автори [5].

За даними досліджень, повне відновлення рухів у суглобах після 30 денної іммобілізації не відбувається на 8 тиждень [6] за даними Sato Y. et al. [7] тільки на 32 тиждень при вільному утриманні тварин можна говорити про відновлення рухів.

Аналіз контрактури, або обмеження рухів в суглобі дає більше цінної інформації для вивчення змін у суглобах. Отже іммобілізація колінного суглоба **(рис.)** в I та II групах тварин дала контрактуру в 60°, тоді як в III групі обмеження не перевищували 25°. І відповідно, відновлення в групах з вібраційною розробкою було стрімким, в III групі досягнуто повне відновлення, в II групі – відновлення до 5° залишкової контрактури, в I групі спостерігаємо залишкову контрактуру у майже 35°, що більше, ніж сформована іммобілізаційна контрактурі в III групі.

При проведенні експерименту було виявлено, що при прогресуванні контрактури на іммобілізованому суглобі виникає обмеження рухів на протилежному. Причина зменшення обсягу рухів, переважно розгинання на неіммобілізованій кінцівці ми пов’язуємо з тим, що для підтримки рівноваги при пересуванні при відсутності повноцінної опори, щури повинні зменшувати висоту тіла, тим самим згинаючи опорну кінцівку. Тривалий час пересування таким способом веде до функціонального зменшення обсягу рухів (тобто контрактура невикористання), яка швидко зникає при відновленні нормального способу пересування. Спеціально ми не вивчали цей аспект, і це може бути темою наступних досліджень.

Таблиця 3 – Динаміка зміни контрактури колінного суглоба у лабораторних щурів після зняття іммобілізації

Група	Термін спостереження після зняття іммобілізації											
	35 доба			42 доба			49 доба			56 доба		
	Ім	К	t/p	Ім	К	t/p	Ім	К	t/p	Ім	К	t/p
I	59±6 51÷67	6±4 2÷13	25,286 0,001	52±7 44÷70	5±3 1÷11	15,217 0,001	37±4 31÷42	4±3 0÷7	23,034 0,001	34±4 26÷40	3±3 0÷8	18,299 0,001
II	40±7 27÷49	5±5 -1÷12	14,085 0,001	30±8 18÷43	6±5 -2÷11	7,245 0,001	14±6 7÷27	2±2 -1÷5	6,120 0,001	7±4 0÷13	2±3 -2÷7	3,638 0,005
III	14±4 7÷20	4±3 -1÷10	6,484 0,001	12±5 2÷19	4±3 -1÷9	6,551 0,001	7±5 0÷15	2±3 -3÷8	4,680 0,001	1±3 -2÷8	1±2 -3÷3	0,345 0,738
F p	157,850 0,001	0,786 0,466		85,855 0,001	0,592 0,560		100,266 0,001	1,872 0,173		221,903 0,001	2,329 0,117	

Причиною, чому у тварин при використанні вібраційного впливу не відбулося повного відновлення обсягів рухів, можна пояснити тим, що все ж таки, обмеження рухливості впливає і на стан м'язів, і короткочасний вплив вібрації не може повноцінно замінити фізичне навантаження, а тільки відновити гідродинаміку суглоба через покращення кровообігу. Це замало для підтримки та відновлення сили м'язів.

Ми не знайшли даних досліджень щодо впливу низькочастотної вібрації на відновлення рухливості суглобів у лабораторних тварин. Тому можна вважати, що отримані дані стануть основою нового напрямку як для вивчення впливу низькочастотної вібрації, так і поштовхом до розробки пристроїв для проведення більш вузько направлених експериментів.

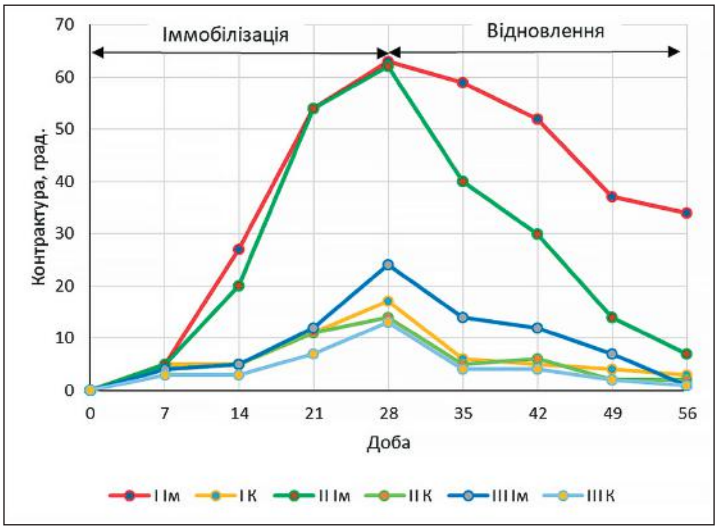

Рисунок – Динаміка зміни контрактури колінного суглобу щурів в процесі проведення експерименту.

Висновки.

Низькочастотна вібрація дозволяє зменшити вплив іммобілізації і значно прискорити відновлення суглоба після її завершення. При неможливості проведення вібротерапії в період іммобілізації, її проведення слід починати як можна раніше.

Перспективи подальших досліджень.

Треба відмітити, що на сьогодні існує мало досліджень щодо впливу низькочастотної вібрації на розвиток іммобілізаційних контрактур та їх подальше лікування. Отримані дані потребують подальших досліджень з більш тривалими термінами іммобілізації, варіантів іммобілізації та режимів вібраційного впливу на суглоби.

References / Література

1. Wong K, Trudel G, Laneuville O. Noninflammatory Joint Contractures Arising from Immobility: Animal Models to Future Treatments. Biomed Res Int. 2015;2015:848290. DOI: 10.1155/2015/848290.
2. Trudel G, Uhthoff HK, Goudreau L, Laneuville O. Quantitative analysis of the reversibility of knee flexion contractures with time: an experimental study using the rat model. BMC Musculoskeletal Disorders. 2014;15(1):338. DOI: 10.1186/1471-2474-15-338.
3. Tyazhelov OA, Khasavnekh A, Karpins'ka OD, Karpins'kyy MYU, Bitsadze MZ. Kontseptual'na model' protsesu formuvannya immobilizatsiynykh kontraktur. Ortopediya, travmatolohiya ta protezuvannya. 2022;3-4:52-61. DOI: 10.15674/0030-598720223-452-61. [in Ukrainian].
4. Chimoto E, Hagiwara Y, Ando A, Itoi E. Progression of an arthrogenic motion restriction after immobilization in a rat experimental knee model. Ups J Med Sci. 2007;112(03):347-355.
5. Kojima S, Hoso M, Watanabe M, Matsuzaki T, Hibino I, Sasaki K. Experimental joint immobilization and remobilization in the rats. J Phys Ther Sci. 2014;26(6):865-71. DOI: 10.1589/jpts.26.865.
6. Trudel G, Zhou J, Uhthoff HK, Laneuville O. Four weeks of mobility after 8 weeks of immobility fails to restore normal motion: a preliminary study. Clin Orthop Relat Res. 2008;466(5):1239-44. DOI: 10.1007/s11999-008-0181-z.
7. Sato Y, Ono T, Ishikura H, Aihara K, Tasaka A, Umei N, et al. The recovery time required for rat joint contractures treated with joint fixation with unweighting of the hind limbs. J Phys Ther Sci. 2019;31(4):336-339. DOI: 10.1589/jpts.31.336.

ФОРМУВАННЯ ІММОБІЛІЗАЦІЙНОЇ КОНТРАКТУРИ КОЛІННОГО СУГЛОБА У ЛАБОРАТОРНИХ ТВАРИН ТА ВІДНОВЛЕННЯ ЙОГО ФУНКЦІОНАЛЬНОСТІ ПІД ВПЛИВОМ НИЗЬКОЧАСТОТНОЇ ВІБРАЦІЇ (експериментальне дослідження)

Хасавнех А .А. М., Карпінська О. Д.

Резюме. Термін «суглобові контрактури» використовується для опису втрати пасивного діапазону рухів діартрозних суглобів, найбільш поширеного та рухомого типу суглобів. При іммобілізації протягом чотирьох і більше тижнів суглобові структури більше сприяли обмеженню обсягу рухів, і контрактури, що виникають в результаті є незворотними.

Мета дослідження. Визначити вплив іммобілізації на формування контрактури колінного суглоба у лабораторних тварин (щурів) та оцінити можливість відновлення рухливості у разі використанні низькочастотної вібрації в процесі іммобілізації та після її завершення.

Об'єкт і методи дослідження. Експериментальне дослідження було проведено на 30 нелінійних білих щурах-самцях віком 6 місяців. Досліджували 3 групи по 10 тварин: І група – 4 тижні іммобілізації, 4 тижні спостереження без реабілітаційних заходів; ІІ група – 4 тижні іммобілізації, 4 тижні проводилась низькочастотна терапія; ІІІ група – 4 тижні іммобілізації та 4 тижні поспіль щури отримували курс вібраційної терапії.

Перед проведенням іммобілізації всім тваринам вимірювали кут розгинання та згинання колінного суглоба. Іммобілізація задньої кінцівки під кутом 140° була виконана шляхом її утримання під гіпсовою пов'язкою та еластичним бинтом у ненаркотизованих щурів. Вібраційну розробку іммобілізованого колінного суглоба виконували з використанням вібраційного стенду в режимі 20 Гц з амплітудою 1,5 мм. Визначення контрактури проводили щотижня.

Результати дослідження. Було виявлено, що стрімке наростання обмеження рухів відбувається починаючи з 2 тижня іммобілізації. У тварин І та ІІ груп обмеження рухів відбувалося однаково, в ІІІ групі тільки на 4 тиждень спостерігалось помітні зміни, але значуще менше, ніж в І та ІІ групах. Після зняття іммобілізації у тварин відбувається нормалізація розгинання. В І групі спостерігали повільне збільшення рухів, які на 4 тиждень після зняття іммобілізації не досягли нормальних значень. У щурів ІІ групи спостерігали стрімке зменшення контрактури, і повернення практично до первинних значень. В III групи відновлення було повним та відносно швидким – за 2 тижні.

Іммобілізація колінного суглоба в I та II групах тварин дала контрактуру в 60°, тоді як в III групі обмеження не перевищували 25°. Відновлення в групах з вібраційною розробкою було стрімким, в III групі досягнуто повне відновлення, в II групі – відновлення до 5° залишкової контрактури, в I групі залишкова контрактура становила біля 35°, що більше, ніж сформована іммобілізаційна контрактурі в III групі.

Висновки. Низькочастотна вібрація дозволяє зменшити вплив іммобілізації і значно прискорити відновлення суглоба після її завершення. При неможливості проведення вібротерапії в період іммобілізації, її проведення слід починати як можна раніше.

Треба відмітити, що на сьогодні існує мало досліджень щодо впливу низькочастотної вібрації на розвиток іммобілізаційних контрактур та їх подальше лікування. Отримані дані потребують подальших досліджень з більш тривалими термінами іммобілізації, варіантів іммобілізації та режимів вібраційного впливу на суглоби.

Ключові слова: лабораторні тварини, експеримент, контрактура, колінний суглоб, вібрація

FORMATION OF IMMOBILIZATION CONTRACTURE OF THE KNEE JOINT IN LABORATORY ANIMALS AND RESTORATION OF ITS FUNCTIONALITY UNDER THE INFLUENCE OF LOW-FREQUENCY VIBRATION (experimental study)

Khasawneh A. A. M., Karpinska O. D.

Abstract. The term «joint contractures» is used to describe the loss of passive range of motion of diarthrosis joints, the most common and mobile type of joints. When immobilized for four or more weeks, the joint structures contribute more to limiting the range of motion, and the resulting contractures are irreversible.

Objective of the study. To determine the effect of immobilization on the formation of knee joint contracture in laboratory animals (rats) and to evaluate the possibility of restoring mobility in the case of low-frequency vibration during immobilization and after its completion.

Object and research methods. The experimental study was conducted on 30 nonlinear white male rats aged 6 months. We studied 3 groups of 10 animals each: Group I – 4 weeks of immobilization, 4 weeks of observation without rehabilitation measures; Group II – 4 weeks of immobilization, 4 weeks of low-frequency therapy; Group III – 4 weeks of immobilization and 4 consecutive weeks of vibration therapy.

Before immobilization, the angle of extension and flexion of the knee joint was measured in all animals. Immobilization of the hind limb at an angle of 140° was performed by holding it under a plaster cast and elastic bandage in unanesthetized rats. Vibratory development of the immobilized knee joint was performed using a vibration stand in the 20 Hz mode with an amplitude of 1.5 mm. Determination of contracture was performed weekly.

Research results. It was found that a rapid increase in movement restriction occurs from the 2nd week of immobilization. In animals of groups I and II, the limitation of movements occurred in the same way, in group III only at week 4 there were noticeable changes, but significantly less than in groups I and II. After removal of immobilization, the animals showed normalization of extension. In group I, a slow increase in movements was observed, which did not reach normal values by week 4 after immobilization was removed. In rats of group II, a rapid decrease in contracture was observed, and a return to almost the original values. In group III, the recovery was complete and relatively fast – in 2 weeks.

Immobilization of the knee joint in groups I and II resulted in a contracture of 60°, while in group III the restrictions did not exceed 25°. Recovery in the groups with vibration development was rapid, in group III a complete recovery was achieved, in group II – recovery of up to 5° of residual contracture, in group I the residual contracture was about 35°, which is more than the formed immobilization contracture in group III.

Conclusions. Low-frequency vibration can reduce the effect of immobilization and significantly accelerate joint recovery after its completion. If vibration therapy is not possible during the period of immobilization, it should be started as early as possible.

It should be noted that today there are few studies on the effect of low-frequency vibration on the development of immobilization contractures and their subsequent treatment. The data obtained require further research with longer immobilization periods, immobilization options, and modes of vibration exposure to joints.

Key words: laboratory animals, experiment, contracture, knee joint, vibration

ORCID and contributionship / ORCID кожного автора та їх внесок до статті:

Khasawneh A. A. M.: 0000-0002-2586-6260 [AEF]

Karpinska O. D.: 0000-0002-1482-7733 [BCD]

Conflict of interest / Конфлікт інтересів:

The authors declare no conflict of interest. / Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Corresponding author / Адреса для кореспонденції

Karpinska Olena Dmytrivna / Карпінська Олена Дмитрівна

Sytenko Institute of Spine and Joint Pathology National Academy of Medical Sciences of Ukraine / ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М.І.Ситенка НАМН України»

Ukraine, 61024, Kharkiv, 80 Pushkinska str. / Адреса: Україна, 61024, м. Харків, вул. Пушкінська 80

Tel.: +380994863463 / Тел.: +380994863463

E-mail: helen.karpinska@gmail.com

A – Work concept and design, **B** – Data collection and analysis, **C** – Responsibility for statistical analysis, **D** – Writing the article, **E** – Critical review, **F** – Final approval of the article / **A** – концепція роботи та дизайн, **B** – збір та аналіз даних, **C** – відповідальність за статичний аналіз, **D** – написання статті, **E** – критичний огляд, **F** – остаточне затвердження статті.

Received 22.11.2022 / Стаття надійшла 22.11.2022 року

Accepted 04.05.2023 / Стаття прийнята до друку 04.05.2023 року