

ОБОБЩЕНОМРЕЖОВИ МОДЕЛИ НА КОСТНО-СТАВНИЯ И НЕРВНО-МУСКУЛНИЯ АПАРАТ НА ГОРЕН КРАЙНИК

Симеон Александров Рибегин

АВТОРЕФЕРАТ

НА ДИСЕРТАЦИОНЕН ТРУД, ПРЕДСТАВЕН ЗА ПРИСЪЖДАНЕ НА ОБРАЗОВАТЕЛНА И
НАУЧНА СТЕПЕН ДОКТОР

ПРОФЕСИОНАЛНО НАПРАВЛЕНИЕ: 4.6 „ИНФОРМАТИКА И КОМПЮТЪРНИ НАУКИ”

НАУЧНА СПЕЦИАЛНОСТ: 0.2.21.10 „ПРИЛОЖЕНИЕ НА ПРИНЦИПИТЕ И МЕТОДИТЕ
НА КИБЕРНЕТИКАТА”

НАУЧНИ РЪКОВОДИТЕЛИ:

чл.-кор. проф. дмн дтн Красимир Атанасов

доц. д-р Вихрен Чакъров

София

2015

Защитата на дисертационния труд ще се състои наотВ заседателната зала на Институт по биофизика и биомедицинско инженерство – Българска академия на науките (ул. „Акад. Г. Бончев бл.105)

Дисертационния труд е обсъждан на разширен научен семинар на секция „Биоинформатика и математическо моделиране на ИБФБМИ на 10.03.2015 г.

Дисертационният труд включва увод, 3 глави и заключение и е в обем от 124 страници. Цитирани са 122 литературни източника.

Автор: Симеон Александров Рибегин

Заглавие : Обобщеномрежови модели на костно-ставния и нервно-мускулния апарат на горен крайник

УВОД

В литературата съществуват редица математически средства за моделиране на биологични и медицински процеси. Голяма част от развитието на тези науки се дължи на използването на математически и статистически средства и подходи, както и подходи и методи от сферата на „изкуствения интелект”. Всеки реален процес фактически представлява съвкупност от отделни подпроцеси, които протичат паралелно във времето. Често те протичат и конкурентно помежду си. Това до голяма степен затруднява разкриването на закономерностите при функционирането на дадена биологична система. В тази връзка използването на математически средства за моделиране и в частност апарата на Обобщените мрежи (ОМ) [2, 3, 8] се явява изключително адекватен и коректен метод. Обобщеномрежовото моделиране дава възможност за прецизно проследяване на всички параметри на подпроцесите при различни условия и моменти от време. Чрез ОМ-моделиране на съвкупност от подпроцеси може да се получи богата информация за стойностите на различните параметри, свързани с тези процеси. Изграждането на модели на паралелните процеси, които протичат в човешкото тяло, позволява тяхното пълно и точно разбиране. От друга старана това води до възможността за навременно откриване на патологични и физиологични отклонения в нормалното функциониране на дадена система или част от човешкото тяло. Процеса на взимане на решение при дадено лечение и рехабилитационна програма е от ключово значение за благоприятния изход, в тази насока симулирането на конструираните модели позволява да се направят оценки на състоянието, прогнози за критични моменти или ситуации, да се планира лечебния процес и необходимата материална база. През годините апаратът на ОМ е бил използван за моделиране на редица биологични процеси.

Наличието на голям брой нервно- мускулни и костно-ставни структури, като и огромният набор от движения правят горния крайник интересен обект за изследване и моделиране. Моделите, представени в настоящия дисертационен

труд, са насочени към описание на процесите, протичащи в структурите на горния крайник. Представените ОМ-модели отразяват логическите връзки между отделните компоненти изграждащи горния крайник и връзката им с останалите системи на човешкото тяло. Използвайки резултатите от работата на тези обобщени мрежи е възможно извеждането на заключения относно динамиката на процесите и моментните им състояния като цяло.

Цел и задачи на дисертационния труд

Целта на дисертационния труд е да се разработят модели описващи анатомо-физиологичните структури на горен крайник, нормалните процеси и логически връзки протичащи между тях.

За постигане на тази цел са формулирани следните задачи:

1. Да се проучи възможността за прилагане на апарата на обобщените мрежи за моделиране на костно-ставния и нервно-мускулния апарат на горен крайник.
2. Да се направи задълбочен анатомо–кинезиологичен анализ на горен крайник.
3. Да се построят обобщеномрежови модели с постепенно усложняване и детайлизиране на процесите свързани с горен крайник.
4. Да се дадат примери за приложение на обобщените мрежи при диагностициране на социално значими проблеми свързани с функцията на горен крайник.

Глава 1. Въведение в теорията на ОМ

В Глава 1 на дисертацията са дадени кратки исторически бележки за появата и развитието на обобщените мрежи, основните дефиниции, свързани с тях, и алгоритмите за функциониране на преход и движение на ядрата в тях. Разгледани са някои модификации и методология за изграждане на обобщена мрежа.

Разгледани са публикациите свързани с теорията на ОМ. Тук заслужава да се отбележат монографиите [2,5,6,7]. По-значимите резултати през годините от появата на първия публикуван доклад[8], са свързани с разработването на алгоритми за функциониране на преход, мрежа и движение на ядра[5,9]. Дефинирането на нови разширения на ОМ [1,4] показва едно значително развитие на теорията с оглед улесняване моделирането на реални процеси. Моделирането на реални процеси предимно в областта на биологията и медицината е засегнато в [10 - 14, 22 - 26].

От направения обзор, ясно личи широкото приложение на обобщените мрежи в различни области. Възможността за моделиране на биологични процеси и системите на човешкия организъм, чрез апарата на обобщените мрежи дават основание за конструирането на по-сложни модели. Моделирането на конкретна структура и проследяването на процесите на взаимодействието и с останалите структури и системи на човешкото тяло е от съществена важност за едно детайлно и пълно разбиране на логическата същност на изследвания обект. От друга страна разработването на такива модели би помогнало при откриване на отклонения от нормалното функциониране на моделираната структура или система, както и причината за тези нарушения.

Обобщено могат да се направят следните по-важни изводи:

- Обобщените мрежи са мощно средство за моделиране на паралелно протичащи във времето процеси. ОМ позволяват изграждането на йерархични модели. Чрез тях могат да се изграждат системи с различно ниво на детайлизация, които биха могли да се доразвиват в дълбочина.
- Обобщените мрежи намират широко приложение в областта на медицината и биологията, подпомагайки изучаването на логиката при протичане на даден физиологичен процес, както и логиката на процеси свързани с диагностика и лечение.

Глава 2. Обобщеномрежови модели на горен крайник

В Глава 2 на дисертационния труд е направен подробен анатомо-кинезиологичен анализ на структурите изграждащи горния крайник. Представени са пет обобщеномрежови модела описващи логическите връзки между отделните структурни елементи на горния крайник. В моделите се отчитат вътрешните и външни въздействия върху нервно-мускулният и костно-ставен апарат, присъствието на кръвоносната и лимфна система, както и извършване на волево и неволево движение.

2.1 Обобщеномрежов модел на свободно отпуснат до тялото горен крайник

Тук са разгледани анатомията на горен крайник, ролята на нервната система и са предложени 2 ОМ-модела : ОМ-модел на анатомичните структури на горен крайник и ОМ-модел на свободно отпуснат до тялото крайник

2.1.1 Приложна анатомия и обобщеномрежов модел на анатомичните структури на горен крайник

В хода на еволюционното си развитие, човекът се е приспособил към вертикална стойка, развивайки бипедална походка. Заемането на изправен стоеж и придвижване посредством долните крайници, дава възможност горните крайници да се освободят за извършване на трудова дейност, хранене, контакт с околната среда и средство за общуване. Тази трансформация във функциите се отразява и в някои анатомични особености на горният крайник-костите изграждащи горният крайник са значително по леки от костите на долният крайник, ставните свързвания са по-слабо конгруентни (стабилизирани предимно от мускулно-сухожилни структури), наличие на голям брой многоставни мускули. Наред с това, ръката като терминално звено на горният крайник е важен източник на сетивна информация от външната среда. Тези особености предразполагат към изключителна свобода на движение и възможност за по-фина и аналитична дейност.

2.1.1.1. Костна система на горния крайник

Скелетът на горният крайник (*skeleton membri superioris*) като част от апендикуларният скелет на човешкото тяло е съставен от 32 кости и може да се раздели условно на две отделни във функционално отношение области- раменен пояс (*ossa cinguli membri superioris*) и свободен горен крайник (*skeleton membri superioris liberi*). В състава на раменния пояс влизат две кости :ключица и лопатка.

Свободният горен крайник е изграден от 30 кости свързани с голям брой съчленения. Условно свободният горен крайник се разделя на: мишница (*brachium*), предмишница (*antebrachium*), и ръка (*manus*). Мишницата се представя единствено от раменната кост (*humerus*), която е най-голямата кост от горния крайник.

Скелетът на предмишницата (*antebrachium*) е съставен от две паралелно разположени дълги кости: лакътна (*ulna*) разположена медиално и лъчева (*radius*) разположена латерално.

В състава на костите на ръката (*ossa manus*) влизат кости на китката (*ossa carpi*), кости на предкитката (*ossa metacarpalia*) и кости на пръстите (*ossa digitorum*).

2.1.1.2. Костни съединения (стави) и лигаментарен апарат на горния крайник

2.1.1.2.1 Раменен пояс

Костите се съчленяват в 3 стави: гленохумерална става, акромиоклавикуларна става и стерноклавикуларна става. При движение се обособяват и 2 ставоподобни съчленения: субакромиален хлъзгателен комплекс и скапулоторакален хлъзгателен комплекс. Лявата и дясната половина на раменния комплекс (ляв и десен горен крайник) се свързват поотделно с костите на туловището и могат да се движат изолирано.

2.1.1.2.2 Лакътна става (articulatio cubiti)

Лакътната става е сложна става. В нея се съчленяват долния край на мишничната кост с лакътната и лъчевата кост. Трите кости се свързват в няколко ставни свързвания обхванати в обща ставна капсула: мишнично-лакътна става, мишнично-лъчева става и проксимална лъчево-лакътна става.

2.1.1.2.3 Стави на китката и ръката (articulationes manus (

Китката и ръката са терминалните и най-активни части на горния крайник. Изключителната подвижност и ефективен обсег на тези звена е в резултат на големия брой ставни съчленения, които се представят от:

- Дистална лъчево-лакътна става (*art. radioulnaris distalis*)

- Лъчево-киткова става (art. radiocarpea).
- Медиокарпална става (art. intercarpea)
- Китково-предкиткови стави (artt. carpometacarpeae)
- Предкитково-пръстови стави (artt. metacarpophalngeae)
- Междуфалангеални стави (artt. interphalangeae manus)

2.1.1.3 *Мускулна система на горния крайник*

Тъй като костите и техните свързвания са пасивната част на тялото, тяхното положение и движение в пространството зависят изцяло от активните мускулни контракции и дължината на обграждащите ги меки тъкани. Мускулите на горния крайник (musculi membri superioris) могат да бъдат обособени в няколко групи.

2.1.1.3.1 *Мускули на раменния пояс*

Множеството мускули групиращи се в областта на раменния пояс, имат начални залавни места върху костите на раменния пояс, друга част от тях обаче започват от костите на трупа. Поради това е уместно да бъдат разделени в две отделни подгрупи:

2.1.1.3.1.1 *Мускули на туловището имащи пряко отношение към функцията на горния крайник*

Тези мускули осъществяват функционалната връзка между горния крайник и туловището и са предпоставка за ергономичността и стабилността на останалите мускули действащи в кинематичната верига на горния крайник. Започват от костите на трупа и според местоположението си биват гръбни и гръдни. Към гръбните мускули се отнасят:

- Трапецовиден мускул (m. trapezius). . Инервира се от n. accessorius
- Широк гръбен мускул (m. latissimus dorsi). Инервира се от n. thoracodorsalis.
- Ромбовиден мускул (m. rhomboideus). Инервира се от n. dorsalis scapulae.
- Повдигач на лопатката (m. levator scapulae). Инервира се от n. dorsalis scapulae.

Гръдните мускули започващи от туловището се разполагат по предната страна на гръдния кош и към тях се отнасят:

- Голям гръден мускул (m. pectoralis major). Инервира се от n. pectoralis lateralis.
- Малък гръден мускул (m. pectoralis minor). Инервира се от n. pectoralis medialis.
- Подключичен мускул (m. subclavius). Инервира се от n. subclavius.
- Преден зъбчат мускул (m. serratus anterior). Инервира се от n. thoracicus longus.

2.1.1.3.1.2 Собствени мускули на раменния пояс

Собствените мускули на раменния пояс се разполагат около раменната става и започват от изграждащите я кости, крайните залавни места на тези мускули са различни части на раменната кост. Към тях се отнасят :

- Делтовиден мускул (m. deltoideus). Инервира се от n. axilaris.
- Надбодилков мускул (m. supraspinatus). Инервира се от n. suprascapularis.
- Подбодилков мускул (m. infraspinatus). Инервира се от n. suprascapularis.
- Малък кръгъл мускул (m. teres minor). Инервира се от n. axilaris.
- Голям кръгъл мускул (m. teres major). Инервира се от n. subscapularis.
- Подлопатков мускул (m. subscapularis). Инервира се от n. subscapularis.

2.1.1.3.2 Мускули на мишницата

Мускулите на мишницата са ориентирани по дължината на мишничната кост. Разделят се на две групи отделени посредством две съединителнотъканни междумускулни прегради (septum intermusculare brachii mediale et laterale). Групата разположена по предната повърхност на раменната кост включва мускулите:

- Двуглав мишничен мускул (m. biceps brachii). Инервира се от n. musculocutaneus.
- Клюно-мишничният мускул (m. coracobrachialis). Инервира се от n. musculocutaneus.
- Мишничен мускул (m. brachialis). Инервира се от n. musculocutaneus.

Групата разположена по задната повърхност на раменната кост се представлява от триглавия мишничен мускул.

- Триглав мишничен мускул (m. triceps brachii). Инервира се от n. radialis.

2.1.1.3.3 *Мускули на предмишницата*

Телата на мускулите на предмишницата се намират на проксималния край на предмишницата, отличават се със значително по-дълги крайни сухожилия. Поради многоставното им прехвърляне те извършват движения със сложен характер. Разполагат се по предната, страничната и задната страна на предмишницата. По-голямата част от мускулите, разположени по предната страна на предмишницата, започват предимно от вътрешния надкондил на раменната кост, като се прехвърлят над лакътната става. Те се разполагат в два слоя повърхностен и дълбок. Повърхностния слой мускули включва :

- Объл пронатор (m. pronator teres). Инервира се от n. medianus.
- Лъчев сгъвач на китката (m. flexor carpi radialis). Инервира се от n. medianus.
- Лакътен сгъвач на китката (m. flexor carpi ulnaris). Инервира се от n. ulnaris.
- Дълъг дланен мускул (m. palmaris longus). Инервира се от n. medianus.
- Повърхностен сгъвач на пръстите (m. flexor digitorum superficialis). Инервира се от n. medianus.

Към дълбокия слой мускули на мишницата разположени от предната страна спадат:

- Дълбок сгъвач на пръстите (m. flexor digitorum profundus) Инервира се от n. interosseous ant. и n. ulnaris.
- Дълъг сгъвач на палеца (m. flexor pollicis longus). Инервира се от n. interosseus.
- Квадратен пронатор (m. pronator quadrates) Инервира се от n. medianus.

По страничната или лъчевата част на предмишницата се разполагат три мускула:

- Мишнично-лъчев мускул (m. brachioradialis). Инервира се от n. radialis.
- Дълъг лъчев разгъвач на китката (m. extensor carpi radialis longus). Инервира се от n. radialis.

- Къс лъчев разгъвач на китката (m. extensor carpi radialis brevis). Инервира се от n. interosseus post.

На задната страна на предмишницата мускулите се разполагат в два слоя: повърхностен и дълбок. В състава на повърхностния слой влизат мускулите:

- Лакътен мускул (m. anconeus). Инервира се от n. radialis.
- Общ разгъвач на пръстите (m. extensor digitorum). Инервира се от n. interosseus post.
- Собствен разгъвач на V^{ти} пръст (m. extensor digiti minimi).
- Лакътен разгъвач на китката (m. extensor carpi ulnaris). Инервира се от n. interosseus post.

В състава на дълбокия слой мускули разположени по задната повърхност на предмишницата влизат :

- Супиниращ мускул (m. supinator). Инервира се от n. radialis.
- Дълъг отвеждач на палеца (m. abductor pollicis longus). Инервира се от n. interosseus post.
- Къс разгъвач на палеца (m. estensor pollicis brevis). Инервира се от n. interosseus post.
- Дълъг разгъвач на палеца (m. extensor pollicis longus). Инервира се от n. interosseus post.
- Собствен разгъвач на показалеца (m. extensor indicis). Инервира се от n. interosseus post.

2.1.1.4 *Мускули на ръката*

Освен сухожилията на предмишничните мускули, преминаващи по дланната и гръбната повърхност на ръката, около костите на ръката се разполагат много къси мускули, започващи и завършващи на тях. При човека мускулите на ръката в резултат на продължителната еволюция и обособяването на ръката като орган на труда са достигнали най-значителното си развитие. Особено голямо развитие са достигнали мускулите на палеца, вследствие на което той е придобил най-голяма подвижност и възможност за противопоставяне на останалите пръсти. Мускулите на ръката се разделят на три основни групи : мускули на палеца , мускули на малкия пръст и мускули на дланта. В тези групи влизат мускулите :

- Къс отвеждач на палеца (m. abductor pollicis brevis). Инервира се от n. medianus.
- Къс сгъвач на палеца (m. flexor pollicis brevis). Инервира се от n. medianus et n. ulnaris
- Привеждач на палеца (m. adductor pollicis). Инервира се от n. ulnaris.
- Противопоставящ палеца мускул (m. opponens pollicis). Инервира се от n. ulnaris.

Тези четири мускула образуват голямото възвишение на палеца (thenar).

- Отвеждащ малкия пръст мускул (m. abductor digiti minimi). Инервира се от n. ulnaris
- Къс сгъвач на малкия пръст (m. flexor digiti minimi brevis). Инервира се от n. ulnaris.
- Противопоставящ малкия пръст мускул (m. opponens digiti minimi). Инервира се от n. ulnaris.

Трите мускула образуват възвишението на малкия пръст (hypothenar).

- Къс дланен мускул (m. palmaris brevis). Инервира се от n. ulnaris.
- Червеобразни мускули (mm. lumbricales). Инервират се от n. medianus за I и II пръст и n. ulnaris за III и IV пръст.
- Междукостни мускули (m. interossei). Инервират се от n. ulnaris.

2.1.1.4. Инервация на горния крайник

2.1.1.4.1. Общ преглед на нервните структури в двигателния апарат

Основна роля за управлението, регулирането и синхронизирането на отделните структури на двигателния апарат, играе нервната система (НС). Необходимо условие за тази задача е нервната система да получава информация (дразнения) за промените във външната и вътрешната среда. Тези дразнения биват анализирани, обработвани и съхранявани от нервната система с цел правилното и функциониране.

2.1.1.4.2. Нервни структури на горния крайник

Предните клонове на гръбначномозъчните нерви се свързват по между си и изграждат нервни сплитове. За функцията на горния крайник има отношение раменния сплит (**plexus brachialis**) и малка част от шийния сплит (**plexus cervicalis**). Раменния сплит се образува от предните клонове на последните четири шийни нерва (C5 – C8) и част от първия гръден нерв (Th1). Нервните структури на горен крайник са представени в таб.1.

• Таб.1 инервация на горен крайник

Периферен нерв	Инервирана става	Инервиран мускул
n. axillaris	гленохумерална	m. deltoideus, m. teres minor
n. suprascapularis	гленохумерална, акромиоклавикуларна	m. infraspinatus, m. supraspinatus,
n. subclavius	стерноклавикуларна	m. subclavius
n. dorsalis scapulae		m. levator scapulae, mm. rhomboidei
n. thoracalis longus		m. serratus anterior
nn. thoracales anteriores		m. pectoralis major et minor
nn. subscapulares		m. teres major, m. subscapularis
n. thoracodorsalis		m. latissimus dorsi
n. accessorius		m. trapezius
n. pectoralis lateralis et medialis	гленохумерална	m. pectoralis major et minor
n. musculocutaneus	гленохумерална, хумерорадиална	m. biceps brachii, m. brachialis, m. coracobrachialis
n. medianus	лакътен комплекс , китка и ръка	m. pronator teres, m. pronator quadratus, m. flexor carpi radialis, m. flexor digitorum superficialis, mm. lumbricalis, m. flexor pollicis brevis, m. opponens pollicis, m. abductor pollicis brevis.
n. ulnaris	лакътен комплекс , китка и ръка	m. flexor carpi ulnaris, mm. interossei, mm. lumbricalis, m. flexor digiti minimi, m. abductor digiti minimi, m. abductor pollicis, m. opponens digiti minimi, m. flexor digitorum profundus.
n. radialis	Лакътен комплекс , Китка и Ръка	m. brachioradialis, m. triceps brachii, m. anconeus, m. supinator, m. extensor carpi radialis longus, m. extensor carpi radialis brevis.
n. interosseus	Лакътен комплекс , Китка и Ръка	m. extensor digitorum, m. extensor indicis, m. extensor digiti minimi, m. extensor carpi ulnaris, m. extensor pollicis longus et brevis, m. abductor pollicis longus.

2.1.1.5 Обобщеномрежов модел на анатомичните структури на горен крайник

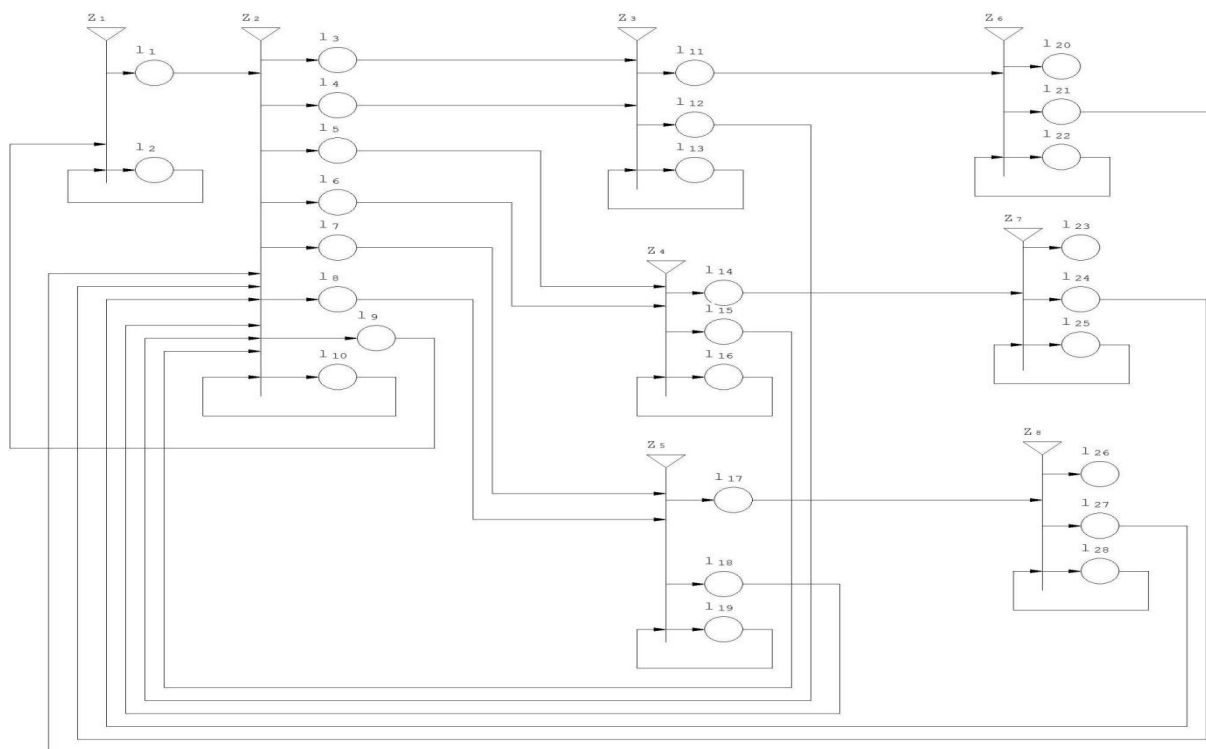
Разработеният в тази точка модел представя нервно-мускулните и костно-ставни структури на горен крайник.

Обобщеномрежовият модел (фиг.1) има множество А от 8 прехода, кедето:

$$A = \{ Z_1, Z_2, Z_3, Z_4, Z_5, Z_6, Z_7, Z_8 \}$$

със следното описание:

- Преход Z_1 представя функцията на ЦНС
- Преход Z_2 представя функцията на ПНС (сензорните и моторните влакна на раменния сплит).
- Преход Z_3 представя костно – ставните структури на раменния апарат.
- Преход Z_4 представя костно – ставните структури на лакътния комплекс.
- Преход Z_5 представя костно – ставните структури на китката и ръката.
- Преход Z_6 представя мускулите на раменния апарат.
- Преход Z_7 представя мускулите на лакътния комплекс.
- Преход Z_8 представя мускулите на китката и ръката.



Фиг.1 ОМ-модел на анатомичните структури на горен крайник

Ядра α , β , ν , ν' , ν'' , μ , μ' и μ'' ще останат постоянно в позициите си през цялото време на функциониране на обобщеномрежовия модел, като някои от тях могат да се разцепят, гнерирайки нови ядра. В момет от време тези ядра могат да се слеят с някои от ядра α , β , ν , ν' , ν'' , μ , μ' и μ'' получавайки нови характеристики.

Осемте прехода в обобщената мрежа имат следното описание:

$$Z_1 = \langle \{l_2, l_9\}, \{l_1, l_2\}, r_1 \rangle,$$

където:

$$r_1 = \begin{array}{c|cc} & l_1 & l_2 \\ \hline l_2 & W_{2,1} & true \\ l_9 & false & true \end{array}$$

и

$W_{2,1}$ = “ еферентните импулси от ЦНС са необходими за регулацията и подържането на структурите изграждащи горния крайник”.

Ядрата от всички входни позиции на преход Z_1 влизат в позиция l_2 и се бединяват с ядро α което получава спомената по – горе начална характеристика. От друга страна ядро α се разцепва на две ядра. Ядро α оставащо в позиция l_2 и ядро α_1 навлизащо в позиция l_1 .

Когато предикатът $W_{2,1}$ има истинна стойност “true” („истина”), тогава ядро α_1 навлиза в позиция l_1 .

Позиция l_1 отговаря за вида на импулса изпратен от ЦНС.

$$Z_2 = \langle \{l_1, l_9, l_{10}, l_{12}, l_{15}, l_{18}, l_{21}, l_{24}, l_{27}\}, \{l_3, l_4, l_5, l_6, l_7, l_8, l_9, l_{10}\}, r_2 \rangle,$$

където:

$$r_2 = \begin{array}{c|cccccccc} & l_3 & l_4 & l_5 & l_6 & l_7 & l_8 & l_9 & l_{10} \\ \hline l_1 & false & false & false & false & false & false & false & W_{1,10} \\ l_9 & false & false & false & false & false & false & false & false \\ l_{10} & W_{10,3} & W_{10,4} & W_{10,5} & W_{10,6} & W_{10,7} & W_{10,8} & true & true \\ l_{12} & false & false & false & false & false & false & false & true \\ l_{15} & false & false & false & false & false & false & false & true \\ l_{18} & false & false & false & false & false & false & false & true \\ l_{21} & false & false & false & false & false & false & false & true \\ l_{24} & false & false & false & false & false & false & false & true \\ l_{27} & false & false & false & false & false & false & false & true \end{array}$$

и

$W_{1,10}$ = “*еферентните импулси от ЦНС са достигнали до раменния сплит*”;

$W_{10,3}$ = “*нервният импулс се разпростира по хода на n. axilaris*”;

$W_{10,4}$ = “*нервният импулс се разпростира по хода на n. musculocutaneus*”;

$W_{10,5}$ = “*нервният импулс се разпростира по хода на n. medianus*”;

$W_{10,6}$ = “*нервният импулс се разпростира по хода на n. ulnaris*”;

$W_{10,7}$ = “*нервният импулс се разпростира по хода на n. radialis*”;

$W_{10,8}$ = “*нервният импулс се разпростира по хода на n. interoseus*”;

Когато передикатът $W_{1,10}$ има истинна стойност „true”, ядро α_1 навлиза в позиция l_{10} и преход Z_2 става активен. На следващата времева стъпка, ядрата от останалите входни позиции на преход Z_2 навлизат в позиция l_{10} и се обединяват с ядро β което приема началната си характеристика. От друга страна ядро β се разцепва на нови осем ядра, ядро β оставащо в позиция l_{10} и ядра $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5, \beta_6, \beta_7$ навлизащи съответно в позиции $l_3, l_4, l_5, l_6, l_7, l_8, l_9$.

Когато передикатът $W_{10,i}$ има истинна стойност “true”, ядро влиза в позиция l_i , където $i=3,4,5,6,7,8$, съответно с характеристика:

“*сетивни и моторни клонове на n.axilaris в раменната област*” в позиция l_3 ;

“*сетивни и моторни клонове на n.musculocutaneus в раменната област*” в позиция l_4 ;

“*сетивни и моторни клонове на n.musculocutaneus в лакътната област*” в позиция l_5 ;

“*сетивни и моторни клонове на n.medianus, n.ulnaris, n.radialis в лакътната област*” в позиция l_6 ;

“*сетивни и моторни клонове на n.medianus, n.ulnaris, n.radialis, n. interoseus в областта на китката и ръката*” в позиция l_7 ;

“*сетивни и моторни клонове на n.interoseus в областта на китката и ръката*” в позиция l_8 .

В обобщената мрежа позиция l_9 отговаря за вида аферентен импулс изпратен от структурите на горния крайник по хода на периферните нерви към ЦНС.

$$Z_3 = \langle \{l_3, l_4, l_{13}\}, \{l_{11}, l_{12}, l_{13}\}, r_3 \rangle,$$

където:

$$r_3 = \begin{array}{c|ccc} & l_{11} & l_{12} & l_{13} \\ \hline l_3 & false & false & true \\ l_4 & false & false & true \\ l_{13} & true & W_{13,12} & true \end{array}$$

и

$W_{13,12}$ = “гленохумералната, акромиоклавикуларната, стерноклавикуларната стави са получили своята инервация и се изпраща сетивен импулс към ЦНС”.

Ядрата от всички входни позиции на преход Z_3 навлизат в позиция l_{13} и се обединяват с ядро v което получава своята начална характеристика. От друга страна ядро v се разделя на три нови ядра, ядро v и ядра v_1 , v_2 , които навлизат съответно в позиции l_{11} , l_{12} .

Когато предикатът $W_{13,12}$ има истинна стойност „true”, ядро v_1 навлиза в позиция l_{12} , където придобива характеристика:

„аферентен импулс от костно – ставните структури на раменния апарат”.

В позиция l_{11} ядро v_2 получава характеристика:

„моторни клонове на *n. axilaris* и *n. musculocutaneus* за мускулите на раменния апарат”.

$$Z_4 = \langle \{l_5, l_6, l_{16}\}, \{l_{14}, l_{15}, l_{16}\}, r_4 \rangle,$$

където:

$$r_4 = \begin{array}{c|ccc} & l_{14} & l_{15} & l_{16} \\ \hline l_5 & false & false & true \\ l_6 & false & false & true \\ l_{16} & true & W_{16,15} & true \end{array}$$

и

$W_{16,12}$ = “мишинично-лакътната, мишинично-лъчевата и лъчево-лакътната стави са получили своята инервация и се изпраща сетивен импулс към ЦНС”.

Ядрата от всички входни позиции на преход Z_4 навлизат в позиция l_{16} и се обединяват с ядро v' което получава своята начална характеристика. От друга страна ядро v' се разделя на три нови ядра, ядро v' и ядра v'_1, v'_2 , които навлизат съответно в позиции l_{14}, l_{15} .

Когато предикатът $W_{16,15}$ има истинна стойност „true”, ядро v'_1 навлиза в позиция l_{15} , където придобива характеристика:

„аферентен импулс от костно – ставните структури на лакътния комплекс”.

В позиция l_{14} ядро v'_2 получава характеристика:

„моторни клонове на n. musculocutaneus, n. medianus, n. radialis, n. ulnaris и n. interosseus за мускулите на лакътния комплекс”.

$$Z_5 = \langle \{l_7, l_8, l_{19}\}, \{l_{17}, l_{18}, l_{19}\}, r_5 \rangle,$$

където:

$r_5 =$	l_{17}	l_{18}	l_{19}
l_7	false	false	true
l_8	false	false	true
l_{19}	true	$W_{19,18}$	true

и

$W_{19,18} =$ *“ставите на китката и ръката са получили своята инервация и се изпраща сетивен импулс към ЦНС”.*

Ядрата от всички входни позиции на преход Z_5 навлизат в позиция l_{19} и се обединяват с ядро v'' което получава своята начална характеристика. От друга страна ядро v'' се разделя на три нови ядра, ядро v'' и ядра v''_1, v''_2 , които навлизат съответно в позиции l_{17}, l_{18} .

Когато предикатът $W_{19,18}$ има истинна стойност „true”, ядро v''_1 навлиза в позиция l_{18} , където придобива характеристика:

„аферентен импулс от костно – ставните структури на китката и ръката”.

В позиция l_{17} ядро v''_2 получава характеристика:

„моторни клонове на n. musculocutaneus, n. medianus, n. radialis, n. ulnaris и n. interosseus за мускулите на китката и ръката”.

$$Z_6 = \langle \{l_{11}, l_{22}\}, \{l_{20}, l_{21}, l_{22}\}, r_6 \rangle,$$

където:

$$r_6 = \begin{array}{c|ccc} & l_{20} & l_{21} & l_{22} \\ \hline l_{11} & false & false & true \\ l_{22} & true & W_{22,21} & true \end{array}$$

и

$W_{22,21}$ = “мускулите на раменния апарат са получили своята инервация и се изпраща аферентен импулс към ЦНС”.

Ядрата от всички входни позиции на преход Z_6 навлизат в позиция l_{22} и се обединяват с ядро μ което получава своята начална характеристика. От друга страна ядро μ се разделя на три нови ядра, ядро μ и ядра μ_1 , μ_2 , които навлизат съответно в позиции l_{20} , l_{21} .

Когато предикатът $W_{22,21}$ има истинна стойност „true”/ „истина” / , ядро μ_1 навлиза в позиция l_{21} , където придобива характеристика:

„ аферентен импулс от мускулите на раменния пояс”

В позиция l_{20} ядро μ_2 получава характеристика:

„ *m.deltoideus, m. teres minor, m.infraspinatus, m.supraspinatus, m.subclavius, m.levator scapulae, mm.romboidei, m.serratus, anterior, m. pectoralis major et minor, m.teres major, m.subscapularis, m.latissimus dorsi и m.trapezius са в нормално функционално състояние*”.

$$Z_7 = \langle \{l_{14}, l_{25}\}, \{l_{23}, l_{24}, l_{25}\}, r_7 \rangle,$$

където:

$$r_7 = \begin{array}{c|ccc} & l_{23} & l_{24} & l_{25} \\ \hline l_{14} & false & false & true \\ l_{25} & true & W_{25,24} & true \end{array}$$

и

$W_{25,24}$ = “мускулите на лакътния комплекс са получили своята инервация и се изпраща аферентен импулс към ЦНС”

Ядрата от всички входни позиции на преход Z_7 навлизат в позиция l_{25} и се обединяват с ядро μ' което получава своята начална характеристика. От друга страна ядро μ' се разделя на три нови ядра, ядро μ' и ядра μ'_1, μ'_2 , които навлизат съответно в позиции l_{23}, l_{24} .

Когато предикатът $W_{25,24}$ има истинна стойност „true”/ „истина” / , ядро μ'_1 навлиза в позиция l_{24} , където придобива характеристика:

„аферентен импулс от мускулите на лакътния комплекс”

В позиция l_{24} ядро μ'_2 получава характеристика:

„m.biceps brachii, m.brachialis, m.coracobrachialis, m.pronator teres, m.pronator quadratus, m.brachioradialis, m.triceps brachii, m.anconeus и m.supinator са в нормално функционално състояние”.

$$Z_8 = \langle \{l_{17}, l_{28}\}, \{l_{26}, l_{27}, l_{28}\}, r_8 \rangle,$$

където:

$$r_8 = \begin{array}{c|ccc} & l_{26} & l_{27} & l_{28} \\ \hline l_{17} & false & false & true \\ l_{28} & true & W_{28,27} & true \end{array}$$

и

$W_{28,27} =$ “мускулите на китката и ръката са получили своята инервация и се изпраща аферентен импулс към ЦНС”.

Ядрата от всички входни позиции на преход Z_8 навлизат в позиция l_{28} и се обединяват с ядро μ'' което получава своята начална характеристика. От друга страна ядро μ'' се разделя на три нови ядра, ядро μ'' и ядра μ''_1, μ''_2 , които навлизат съответно в позиции l_{26}, l_{27} .

Когато предикатът $W_{28,27}$ има истинна стойност „true”, ядро μ''_1 навлиза в позиция l_{27} , където придобива характеристика:

„аферентен импулс от мускулите на китката и ръката”.

В позиция l_{26} ядро μ''_2 получава характеристика:

„m.flexor carpi radialis, m.flexor digitorum superficialis, mm lumbricalis, m. flexor pollicis brevis, m.opponens pollicis, m.abductor pollicis brevis, m.flexor carpi ulnaris, mm. interosiei, mm. lumbricalis, m.flexor digiti minimi, m.abductor digiti minimi, m.abductor pollicis, m.oponenc digiti minimi, m.flexor digitorum profundus, m.extensor digitorum, m. extensor indicis, m.extensor digiti minimi, m.extensor carpi ulnaris, m.extensor pillicis longus et brevis и m.abductor pillicis longus са в нормално функционално състояние”.

2.1.1.6. Кръвоносни и лимфни съдове на горния крайник

Кръвоносната система е система осигуряваща циркулацията на течности в тялото. Чрез тази система се осъществява доставката на хранителни вещества (мазнини, въглехидрати, белтъци и др), транспортиране на газове и отпадни продукти от и към клетките, преноса на сигнални вещества (хормони, ферменти и др.), както и поддържането на хомеостазата.

Аортата е най-големият кръвоносен съд в човешкото тяло. Различават се три отделни части на аортата: възходяща аорта, аортна дъга и низходяща аорта. Аортната дъга дава началото на артериите снабдяващи с кръв главата и горните крайници (табл.2).

Таблица 2 Артериална система на горен крайник

Основни артерии	Клонове	Снабдявана структура
Подключична артерия	Vertebral artery, internal thoracic artery, thyrocervical trunk, costocervical trunk	Шия и регион на лопатката
Подмишнична артерия	Superior thoracic artery, acromiothoracic trunk, lateral thoracic artery, subscapular artery, circumflex humeral artery	Гръден и лопатков регион, раменен комплекс и част от гръдната стена
Мишнична артерия	The profunda brachii artery, ulnar collateral artery, supratrochlear artery	Мишница и лакътен комплекс
Лакътна артерия	Ulnar recurrent arteries, common interosseus artery, palmar and dorsal carpal branches, superficial palmar arch	Предмишница, лакътен комплекс, китка и ръка
Лъчева артерия	Radial recurrent artery, superficial palmar branch, palmar carpal branch, posterior carpal branch, princeps pollicis artery, radialis indicis artery, deep palmar arch	Предмишница, лакътен комплекс, китка и ръка

Венозната система на горния крайник (таб.3) включва повърхностни и дълбоки вени. Повърхностните вени са разположени непосредствено под кожата а дълбоките между мускулите на крайниците. Като цяло вените съпътстват артериалните съдове и са сходно наименувани.

Таблица 3 Венозни и лимфни съдове на горен крайник

Дълбоки вени	Главни повърхностни вени	Лимфни съдове и възли
Подключична вена Подмишнична вена Мишнична вена Лъчева вена Лакътна вена Междукостни вени Дълбока дланна венозна дъга Дланно – киткови вени	Латерална подкожна вена Медиална подкожна вена Срединна лакътна вена	Гръден проток: - ляв подключичен ствол - ляв главов ствол Десен лимфен проток: - десен подключичен ствол - десен главов ствол Подмишнични лимфни възли Мишнични лимфни възли Надкондилови лимфни възли Лакътни лимфни възли

2.1.2 *Обобщеномрежов модел на свободно отпуснат до тялото крайник*

В условията на изправен стоеж, или нормалното положение на тялото в пространството, горните крайници са отпуснати до тялото, като воларната повърхност на ръката е насочена към към него. За поддържането на тази позиция не е необходима волева мускулна контракция и усилие. Под действието на гравитацията и собствената тежест на горния крайник, се създава теглене в меките тъкани (лигаменти, сухожилия, мускули). Това теглене активира различните рецептори, като те изпращат сензорна информация към регулаторните структури на централната нервна система. Структурите на ниво гръбначен мозък поддържат тоничното мускулно съкращение или мускулен тонус чрез т.нар. сегментарна рефлексна дъга. Тоничното мускулно съкращение осигурява описаната по-горе позиция на сегментите на горния крайник, като така те се намират в оптимално положение за извършване на движение.

Тук ще представим опростен обобщеномрежов модел на свободно отпуснат до тялото горен крайник.

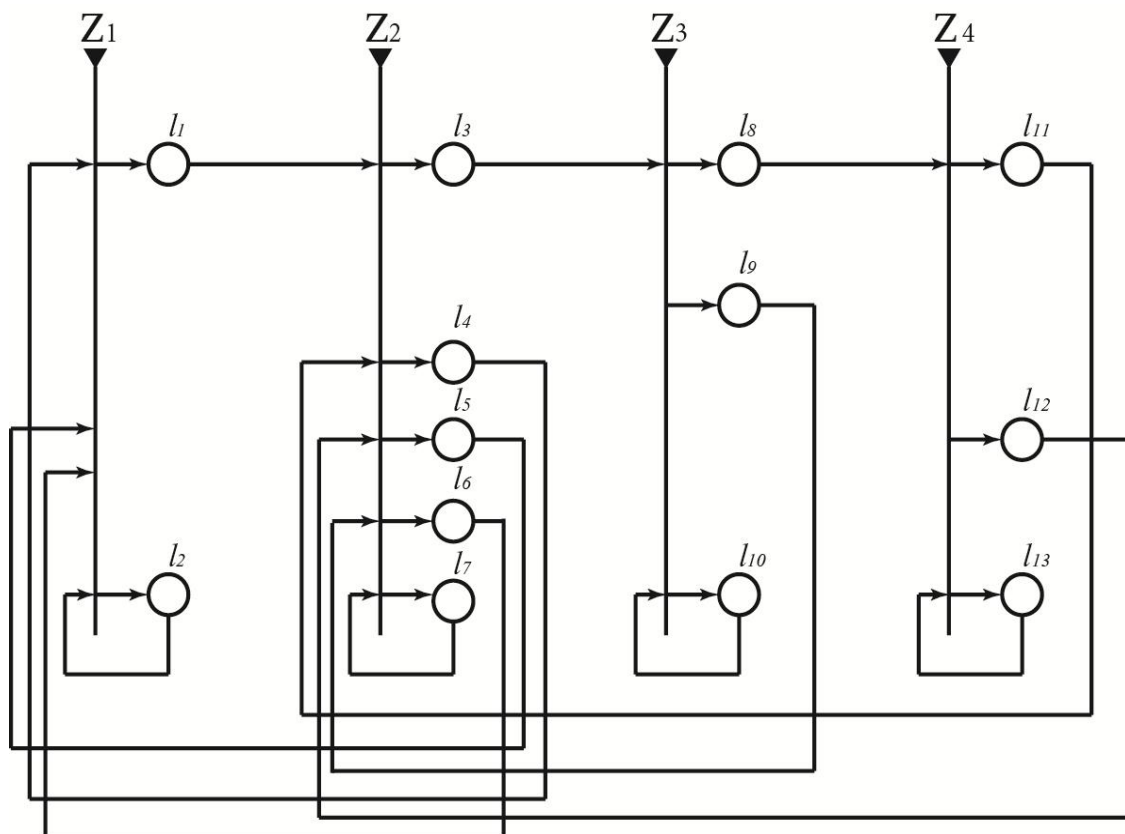
Обобщеномрежовият модел (фиг.2) има 13 позиции и множество А от 4 прехода, кедето:

$$A = \{ Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 \}$$

със следното описание:

- Преход Z_1 представя функцията на ЦНС;
- Преход Z_2 представя функцията на ПНС (сензорните и моторните влакна на раменния сплит);
- Преход Z_3 представя функцията на скелетните мусули и сухожилия на горния крайник;
- Преход Z_4 представя функцията на ставите и лигаментите на горния крайник.

Подробно описание на отделните преходи и на мрежата може да се намери в [15].



Фиг.2 OM-модел на свободно отпуснат до тялото крайник

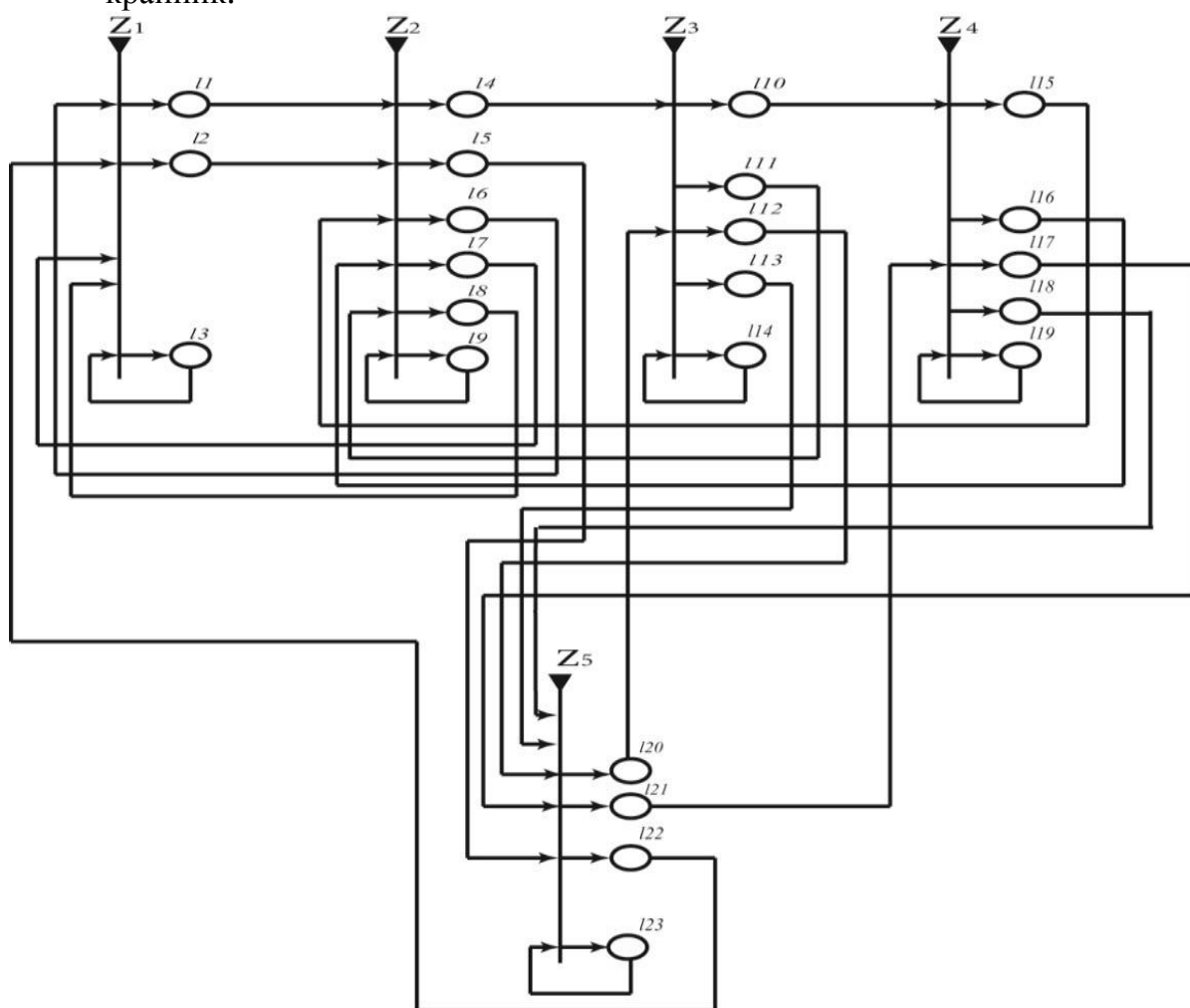
2.1.3 Обобщеномрежов модел на кръвоносната система на горния крайник

Следвайки представения по-горе модел ще конструираме обобщена мрежа съдържаща нов елемент, а именно наличието на кръвоносната система на горния крайник. Така новопостроената мрежа се явява разширение на предходната и ще послужи, като база за изграждането на по-детайлни модели.

Обобщеномрежовият модел представен тук (фиг.3) има множество A от 5 прехода, където:

$$A = \{ Z_1, Z_2, Z_3, Z_4, Z_5 \}$$

- Преход Z_1 представя функцията на ЦНС;
- Преход Z_2 представя функцията на ПНС (сензорните и моторните влакна на раменния сплит);
- Преход Z_3 представя функцията на скелетните мускули и сухожилия на горния крайник;
- Преход Z_4 представя функцията на ставите и лигаментите на горния крайник;
- Преход Z_5 представя функцията на кръвоносната система на горния крайник.



Фиг.3 ОМ-модел на кръвоносната система на горен крайник

Подробно описание на отделните преходи и на мрежата може да се намери в [16].

2.2 Обобщеномрежово моделиране на двигателния контрол на горен крайник

В тази точка ще бъде направен кинезиологичен анализ на горен крайник, необходим за определяне на двигателния капацитет и основните мускулни действия и синергизъм.

Тук ще представим и два ОМ-модела описващи волева и неволева двигателна дейност на горен крайник. Моделът описан в подточка 2.2.2 е пример за активно волево движение извършено с горен крайник. Вторият представен модел в подточка 2.2.3 ще даде пример за рефлексната дейност на нервната система и участието на горния крайник при рефлекс на отдръпване.

2.2.1. *Кинезиологичен анализ на горен крайник*

В ежедневната дейност на човека, основен процент от движенията се извършват посредством горните крайници. Движенията на горния крайник се извършват комплексно, като в повечето случаи се включват няколко стави или двигателни сегмента. Това превръща горния крайник в една сложна биомеханична система от кинематични съединения, изграждащи кинематична верига. Веригата представлява комбинация от кинематични двойки, разположени последователно и образуващи комплексна моторна единица. В изграждането на кинематичната верига на горния крайник влизат няколко двигателни комплекса, като тяхната координация и синхрон превръщат горния крайник в най-мобилната част от човешкото тяло.

2.2.1.1 **Раменен комплекс.**

Раменният комплекс е най-сложният и мобилен механизъм от опорно-двигателния апарат на човека поради комплексното участие и на четирите изграждащи го сегмента (стави):

Като цяло активните движения които се извършват в раменния комплекс са следните:

- Флексия (отдалечаване на горния крайник от торакса в сагиталната равнина напред). Възможните градуси според възрастта на индивида са от 165° до 180°.
- Екстензия (отдалечаване на горния крайник от торакса в сагиталната равнина назад). Възможните градуси са от 30° до 60° .

$$S : 60^{\circ} - 0^{\circ} - 180^{\circ}$$

- Абдукция (отдалечаване на горния крайник от торакса във фронталната равнина). възможните градуси са от 170° до 180°.
- Аддукция (приближаване на горния крайник към торакса медиално от анатомичната позиция при предварителна флексия от 10° – 25°). Възможните градуси са от 50° до 75°.

$$F : 180^{\circ} - 0^{\circ} - 0^{\circ}$$

$$F_{(25^{\circ})} : 180^{\circ} - 0^{\circ} - 75^{\circ}$$

- Външна ротация (външно ротиране на горния крайник по оста на раменната кост). Възможните градуси при неутрално положение ($F0^{\circ}$) са от 60° до 75°. При предварително абдуциран горен крайник до 90° ($F90^{\circ}$), градусите на външната ротация са от 80° до 90°.
- Вътрешна ротация (вътрешно ротиране на горния крайник по оста на раменната кост). Възможните градуси са от 85° до 90°.

$$R_{(F90^{\circ})} : 90^{\circ} - 0^{\circ} - 90^{\circ}$$

$$R : 75^{\circ} - 0^{\circ} - 90^{\circ}$$

- Хоризонтална аб-и аддукция (приближаване и отдалечаване на горния крайник в равнината на лопатката). Възможните градуси са съответно: за абдукция 135° и за аддукция 45°.

$$T : 45^{\circ} - 0^{\circ} - 135^{\circ}$$

- Циркумдукция (кръгово движение на горния крайник описано по конусообразна траектория). Възможните градуси на циркумдукция са до 200°.

За извършване на движение с горния крайник произхождащо от раменния комплекс, е необходимо участието на всички стави и двигателни сегменти влизащи в ноговото изграждане. Във всеки един момент от елевация на крайника се наблюдава движение на лопатката и ключицата. Движението в гленохумералната става е акомпанирано от движение в скапулоторакалният комплекс и стерноклавикуларната става. Синхронното и координирано действие между раменните структури се нарича Скапулохумерален ритъм. Този синхрон е познат още от първите изследвания на горния крайник и се използва за анализ през целият 19 век. През 1934г. за първи път Кодман, описва този синхрон като плавно и координирано взаимодействие между ставите и мускулите на мишницата и раменния пояс, осигуряващо физиологичен обем на движение

Скапулохумералният ритъм по правило се изследва при абдуциране на горния крайник от 0° до 180°, като е възприето за норма съотношение 2 : 1 или 120° от движението се извършват в гленохумералната става и 60° в останалите стави на раменния комплекс. По време на това движение могат да бъдат отдиференцирани 4 фази на скапулохумерален ритъм :

2.2.1.2. Лакътен комплекс

Лакътния кинематичен комплекс може да се определи, като междинно двигателно звено на горния крайник. Основната функция на този двигателен комплекс е да даде възможност на ръката да зема необходимата позиция в пространството при осъществяване на различни дейности. Движенията в лакътния комплекс са предпоставка за относителна промяна в дължината на горния крайник и прецизно ориентиране към определена цел.

Активните движения които се извършват в лакътния комплекс са следните:

- Флексия (свиване) на горния крайник и приближаване на предмишницата към раменната кост в сагиталната равнина.
- Екстензия (разгъване) на горния крайник и отдалечаване на предмишницата от раменната кост в сагиталната равнина .

Възможният обем на движение е от 0° до 150°. При някои индивиди се наблюдава и хиперекстензия от около 10°-15°.

$$S: 0^{\circ} - 0^{\circ} - 150^{\circ} \quad (S: 15^{\circ} - 0^{\circ} - 150^{\circ})$$

- Пронация (вътрешно ротиране на предмишницата) .
- Супинация (външно ротиране на предмишницата).

Проносупинаторните движения се извършват едновременно в хумерорадиалния, проксималния, дисталния и междинния радиоулнарен двигателен сегмент.

$$R: 90^{\circ} - 0^{\circ} - 90^{\circ}$$

2.2.1.3. Двигателен комплекс на китката и ръката

Двигателния комплекс на китката и ръката може да се определи, като сложна мултисегментарна система, обезпечаваща цялостната функция на горния крайник. Анатомията и функцията на този комплекс е взаимосвързана и се изгражда от радиокарпалната и медиокарпална стави на китката и кинематичния комплекс на ръката. Китката е терминалното звено от кинематичната верига на горния крайник и основната и функция е да подпомага ръката за извършване на силови и прецизни дейности.

Сегментите изграждащи киткения комплекс позволяват флексия и екстензия в сагиталната равнина и абдукция и аддукция във фронталната равнина съответно:

- Флексия (сгъване и придвижване на дланната повърхност на ръката към предмишницата). Нормалният обем на палмарната флексия е от 70^0 до 90^0 .
- Екстензия (разгъване и приближаване на дорзалната повърхност на ръката към предмишницата). Нормалният обем на екстензия (дорзифлексия) е от 70^0 до 80^0 .

$$S: 90^0 - 0^0 - 80^0$$

Движенията в сагиталната равнина се извършват около хоризонталната ос.

- Абдукция (радиално привеждане на ръката спрямо предмишницата). Нормалната абдукция (радиална девиация) е от около $15^0 - 20^0$.
- Аддукция (улнарно привеждане на ръката спрямо предмишницата). Нормалната аддукция (улнарна девиация) е от около 40^0 .

$$F: 25^0 - 0^0 - 40^0$$

Движенията във фронталната равнина се извършват около предно-задната ос.

Ръката притежава изключителна подвижност, като е в състояние да изпълни значителен набор от сложни и многостранни дейности. Костно-ставните структури изграждащи ръката се групират в голям брой кинетични двойки формиращи стабилен и мобилен сегмент.

Сегментите изграждащи ръката са:

- Карпометакарпални стави на 2-5 пръст.
- Карпо-метакарпална става на първи пръст (палец). Карпометакарпалната става на първи пръст позволява движения във фронталната и сагиталната равнина, както и циркумдукция. Движенията във фронталната равнина се извършват към дорзалната и палмарната страна на първи пръст и са съответно :
 - Флексия (радиална аддукция на палеца). Нормално радиалната аддукция на палеца е от около 15^0 .
 - Екстензия (радиална абдукция на палеца). Нормалната радиална абдукция на палеца е от около $30^0 - 35^0$.

$$F: 30^0 - 0^0 - 15^0$$

При движение в сагиталната равнина, палецът се отвежда към медиалната и латералната си страна.

- Абдукция (палмарна абдукция). Нормално палмарната абдукция на палеца е от около 40° .
- Аддукция (палмарна аддукция). От неутрално положение на палеца това движение се ограничава от контаката с радиалната страна на втора метакарпална кост.

S: $40^{\circ} - 0^{\circ} - 0^{\circ}$

- Метакарпофалангеални стави. Обемът на движение в тези стави варира при отделните пръсти, като се увеличава от радиална към улнарна посока. Метакарпофалангеалните стави позволяват движение в сагиталната и фронталната равнина.

S: $35^{\circ} - 0^{\circ} - 90^{\circ}$

Във фронталната равнина се извършват аб и аддукция съответно: абдукция от 30° и аддукция от около 25° .

F: $30^{\circ} - 0^{\circ} - 25^{\circ}$

Метакарпофалангиалната става на първи пръст се различава по това, че има две сезамовидни костици и минимална абдукторно-аддукторна подвижност. Нормалната подвижност в сагиталната равнина е екстензия от 5° и флексия от около 50° .

S: $5^{\circ} - 0^{\circ} - 50^{\circ}$

- Интерфалангеални стави. Нормалният обем на движение в проксималните интерфалангеални стави на 2 до 5ти пръст е 0° екстензия и 100° флексия, а на дисталните 0° екстензия и 90° флексия. При извършване на флексия в интерфалангеалните стави пръстите се отклоняват леко към срединната линия на ръката и се ротират леко медиално.

S: $0^{\circ} - 0^{\circ} - 100^{\circ}$

S: $0^{\circ} - 0^{\circ} - 90^{\circ}$

Палецът има само една интерфалангеална става в която се извършва флексия от 85° и екстензия от около 15° .

S: $15^{\circ} - 0^{\circ} - 85^{\circ}$

Двигателният синхрон и възможността за извършване на сложни и прецизни действия на ръката се определят от специфичното мускулно действие в този двигателен сегмент.

2.2.2 Обобщеномрежов модел на движение във фронталната равнина горен крайник

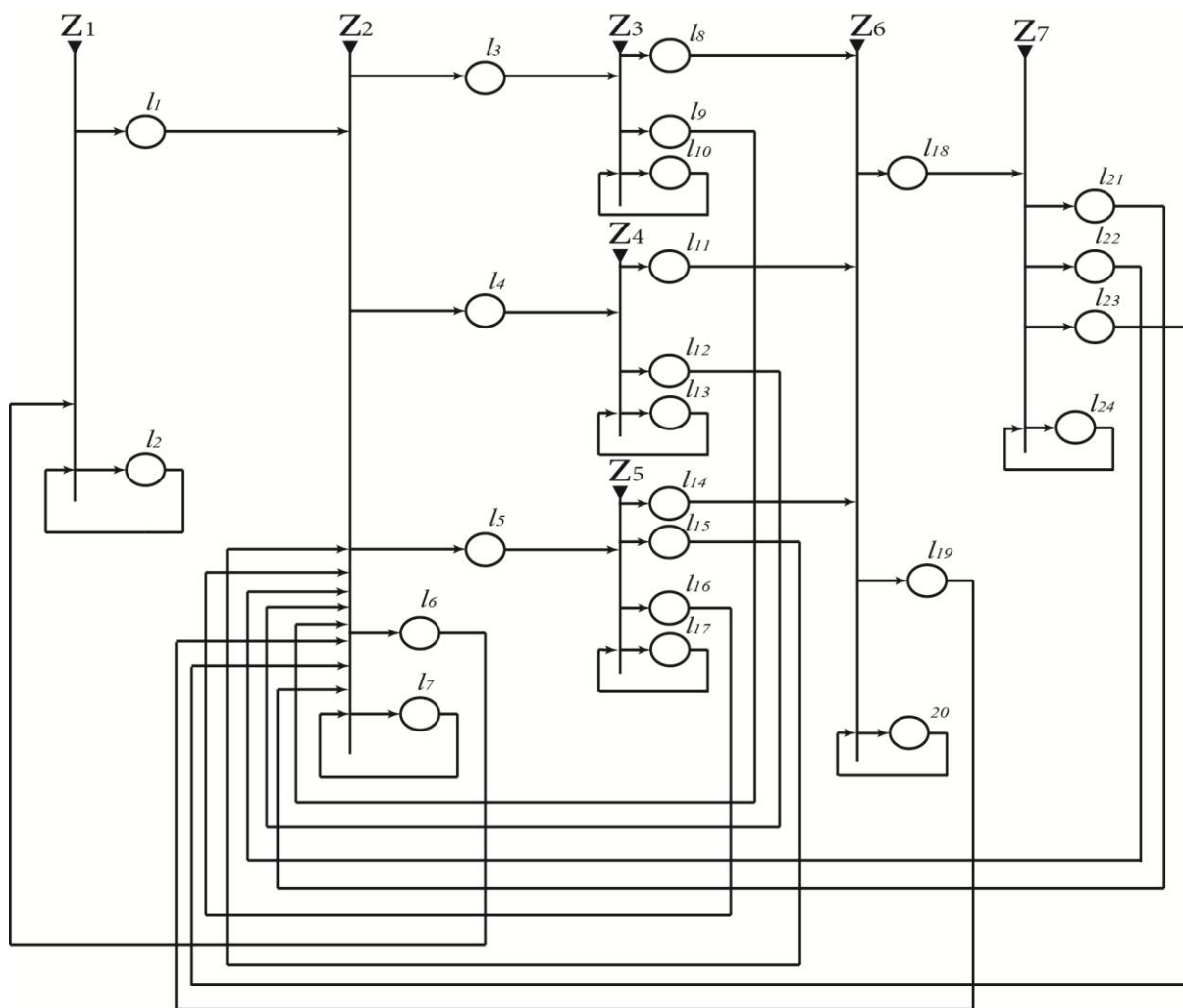
От направеният по-горе кинезиологичен анализ става ясно, че горният крайник представлява сложен двигателен механизъм, даващ възможност за движение във всички пространствени равнини. Всяко движение извършено с горния крайник е съвкупност от координация и синхрон на повече от един двигателен сегмент и няколко двигателни единици. В тази точка е конструиран модел даващ пример за такова взаимодействие, а именно модел на скапулохумерален ритъм имащ основно значение за функционалния интегритет на горния крайник при извършване на движение във фронталната равнина. Моделираното в тази точка активно движение, представлява повдигане на крайника от неутрално положение(свободно отпуснат до тялото) до 180° .

В статията на автора [21] е предложен ОМ-модел представящ скапулохумерален ритъм(фиг.4). Представеният обобщеномрежов модел има 24 позиции и множество А от 7 прехода където,

$$A = \{ Z_1, Z_2, Z_3, Z_4, Z_5, Z_6, Z_7 \}$$

със следното описание:

- Преход Z_1 представя функцията на ЦНС;
- Преход Z_2 представя функцията на ПНС (сетивните и моторни влакна на раменния сплит);
- Преход Z_3 представя функцията на мускулите и сухожилията инициращи елевацията на горния крайник;
- Преход Z_4 представя функцията на мускулите от ротаторния маншон и мускулите на туловището имащи пряко отношение към движението на горния крайник;
- Преход Z_5 представя функцията на мускулите антагонисти и паравертебрална мускулатура;
- Преход Z_6 представя функцията на ставните структури на раменен комплекс;
- Преход Z_7 представя положението на горния крайник в пространството.



фиг. 4 ОМ-модел на скапулохумерален ритъм

2.2.3 Обобщеномрежов модел на неволево движение на горен крайник

Неволеят двигателен акт по своята същност представлява стереотипна реакция при дразнене на рецептори от определени стимули, което е и една от основните прояви на нервната система. Тук ще дадем пример за неволево движение с горния крайник предизвикано от т.н рефлекс на отдръпване.

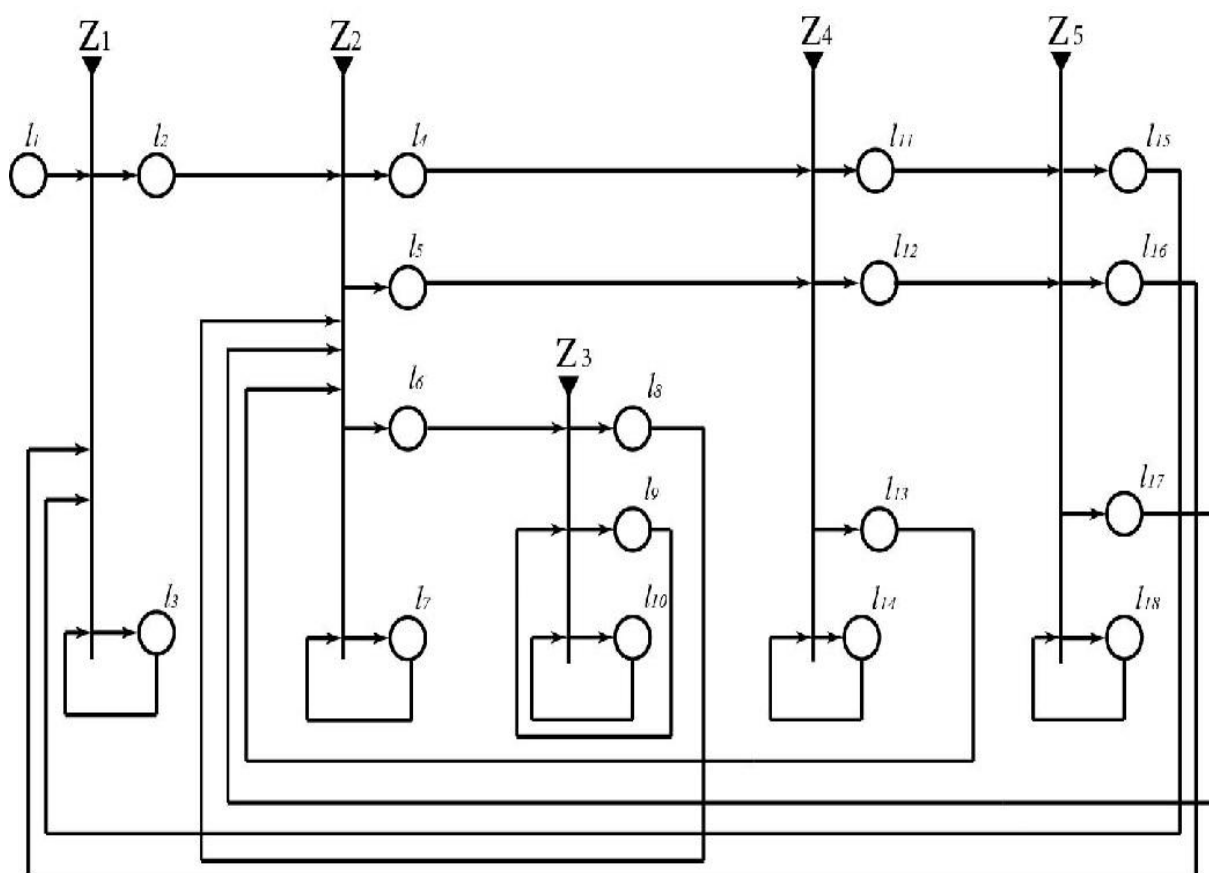
Рефлексът на отдръпване е елементарен полисинптичен спинален рефлекс проявяващ се при болкови стимули. Интерсегментният рефлекс на отдръпване е важен механизъм за самосъхранение чрез отдръпване на част от тялото при застрашаващи с увреждане дразнения. С оглед целта на дисертацията е разгледан рефлекс на отдръпване в горния крайник. След докосване на горещ предмет рефлексът се инициира и крайникът се отвежда далеч от дразнителя без съзнателна команда. Болковите дразнения достигат до проприоцептивните спинални неврони и интерневрони, активиращи флексорите на горния крайник.

Същевременно проприоцептивните неврони активират екстензорите (антагонистите) на същите. Нервният път и механизмът на този рефлекс е сложен и включва множество структури, за улеснение ще разгледаме само локалната проява на рефлекса в една става (лакътна става) и само една мускулна двойка (m. biceps brachii и m. triceps brachii). Механизмът на рефлекса е описан с ОМ представена в [17].

Предложеният обобщеномрежов модел(фиг.5) в тази точка съдържа множество от преходи A, където

$A = \{ Z_1, Z_2, Z_3, Z_4, Z_5 \}$, със следното описание:

- Преход Z_1 представя структурите на китката и ръката;
- Преход Z_2 представя функцията на нервната система (периферни и централни структури на ниво гръбначен стълб);
- Преход Z_3 представя функцията на главния мозък;
- Преход Z_4 представя функцията на мускулите и сухожилията на мишницата;
- Преход Z_5 представя функцията на ставите и лигаментите на лакътния комплекс.



Фиг. 5 ОМ-модел на рефлекс на отдръпване

Резултати и Изводи

- Предложен е ОМ-модел на анатомичните структури изграждащи горен крайник
- Предложен е ОМ-модел на свободно отпуснат до тялото крайник
- Предложен е ОМ-модел на кръвоносната система на горен крайник
- Предложен е ОМ-модел описващ скапулохумерален ритъм
- Предложен е ОМ-модел описващ рефлекс на отдръпване

Пълното и детайлно проучване на устройството на горния крайник и ролята на нервната система, дадоха възможност да бъдат конструирани ОМ-модели описващи основните връзки между отделните елементи изграждащи тази сложна физиологична система. Представените в Глава 2 ОМ-модели описват достатъчно точно и пълно логическите връзки между структурите на горен крайник, както при неутрално положение така и при извършване на двигателен акт. Получените резултати ще ни дадат възможност за едно по-детайлно описване на цялостната функция на горния крайник, както и възможността за ранна диагностика на функционални и патологични отклонения. Бъдещи изследвания ще бъдат насочени към разработване на ОМ-модели на заболявания и травми на горния крайник, както и модели описващи различни рехабилитационни програми за възстановяване функциите на засегнатите структури.

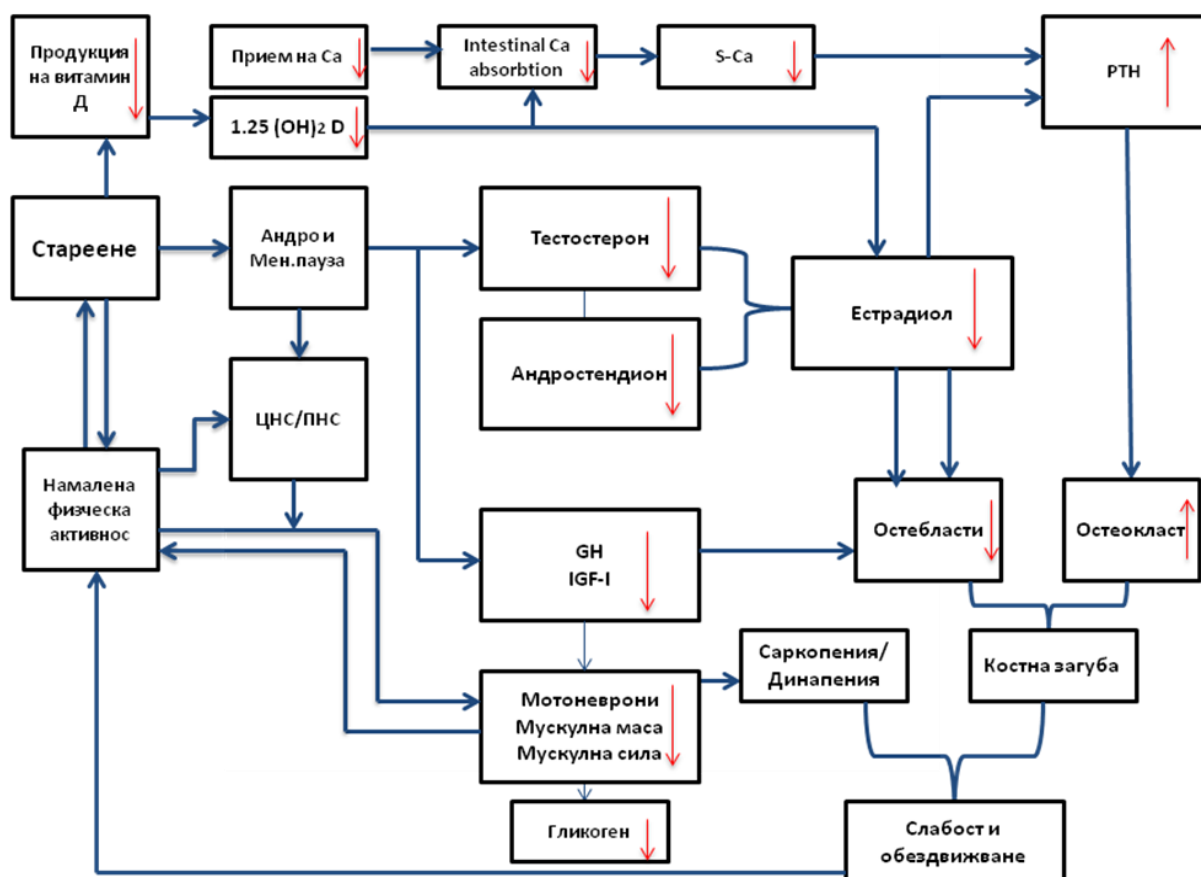
Глава 3. Приложение на обобщените мрежи при проследяване и оценка на някои функционални и структурни изменения в горния крайник

В Глава 3 от дисертационния труд са засегнати два основни и социално значими проблема свързани с функцията на горния крайник. Описани са два обобщеномрежови модела с приложна насоченост. В точка 3.1 е проследен процеса на стареене и измененията настъпващи в структурите на горния крайник. Представен е теоретичен модел на евентуалните причини за настъпващите промени и е описан обобщено мрежов модел на разглеждания биологичен процес. В точка 3.2 е разгледана една от водещите симптоматики за търсене на медицинска помощ, а именно болката в раменна област. Посочени са най-честите заболявания, причиняващи болка и е построен обобщеномрежов модел за диагностициране на болковата симптоматика в раменна област. Описани са накратко клиничната картина и необходимите изследвания.

3.1. Обобщеномрежов модел на измененията настъпващи в горен крайник при процеса на стареене

Стареенето е сложен естествен биологичен процес, част от индивидуалното развитие на човека. Този процес се характеризира с постепенно и прогресивно намаляване на жизнените функции. Възрастовите промени в организма на човека започват в различен момент и се развиват с различна интензивност при отделните индивиди.

В настоящата точка е представен теоретичен модел(фиг.6) на потенциалните фактори водещи до нарушена двигателна активност. Разгледани са накратко измененията настъпващи в мускулно-скелетния апарат и връзката им с функцията на горния крайник.



фиг. 6 Теоретичен модел на промените настъпващи в организма при процеса на стареене и връзката им с намалената физ. активност

На базата на предложения по-горе теоретичен модел, определящ факторите водещи до функционален спад в организма като цяло, ще представим ОМ-модел на измененията настъпващи в горен крайник при процеса на стареене.

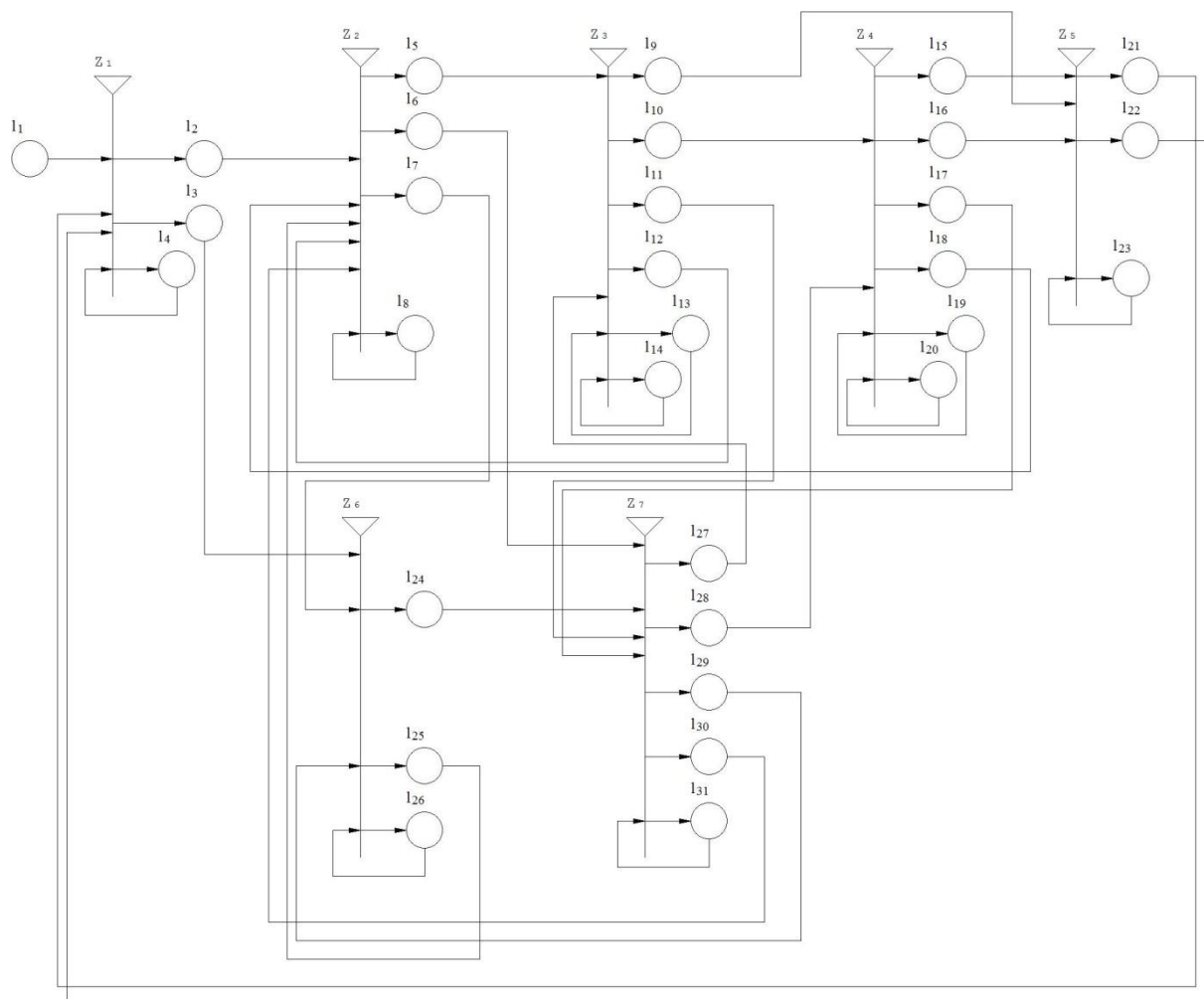
Обобщеномрежовият модел (фиг.7) има множество A от 7 прехода, кедето:

$$A = \{ Z_1, Z_2, Z_3, Z_4, Z_5, Z_6, Z_7 \}$$

и 31 позиции със следното описание:

- Преход Z_1 представя функционалното състояние на пациент;
- Преход Z_2 представя функцията на ЦНС и ПНС
- Преход Z_3 представя функцията на мускулите и сухожилията на горен крайник;
- Преход Z_4 представя функцията на ставите(и костите) и лигаментите на горен крайник;
- Преход Z_5 (допълнителна) представя функционалното състояние на горен крайник;
- Преход Z_6 представя функцията на ендокринната система;

- Преход Z_7 представя функцията на кръвоносната система и кръвоносните съдове на горенкрайник.



фиг.7 OM-модел на измененията настъпващи в горния крайник при процеса на стареене

Подробното описание на отделните преходи и на мрежата може да се намери в [20].

3.2. Обобщеномрежов модел за диагностициране на болкова симптоматика в раменна област

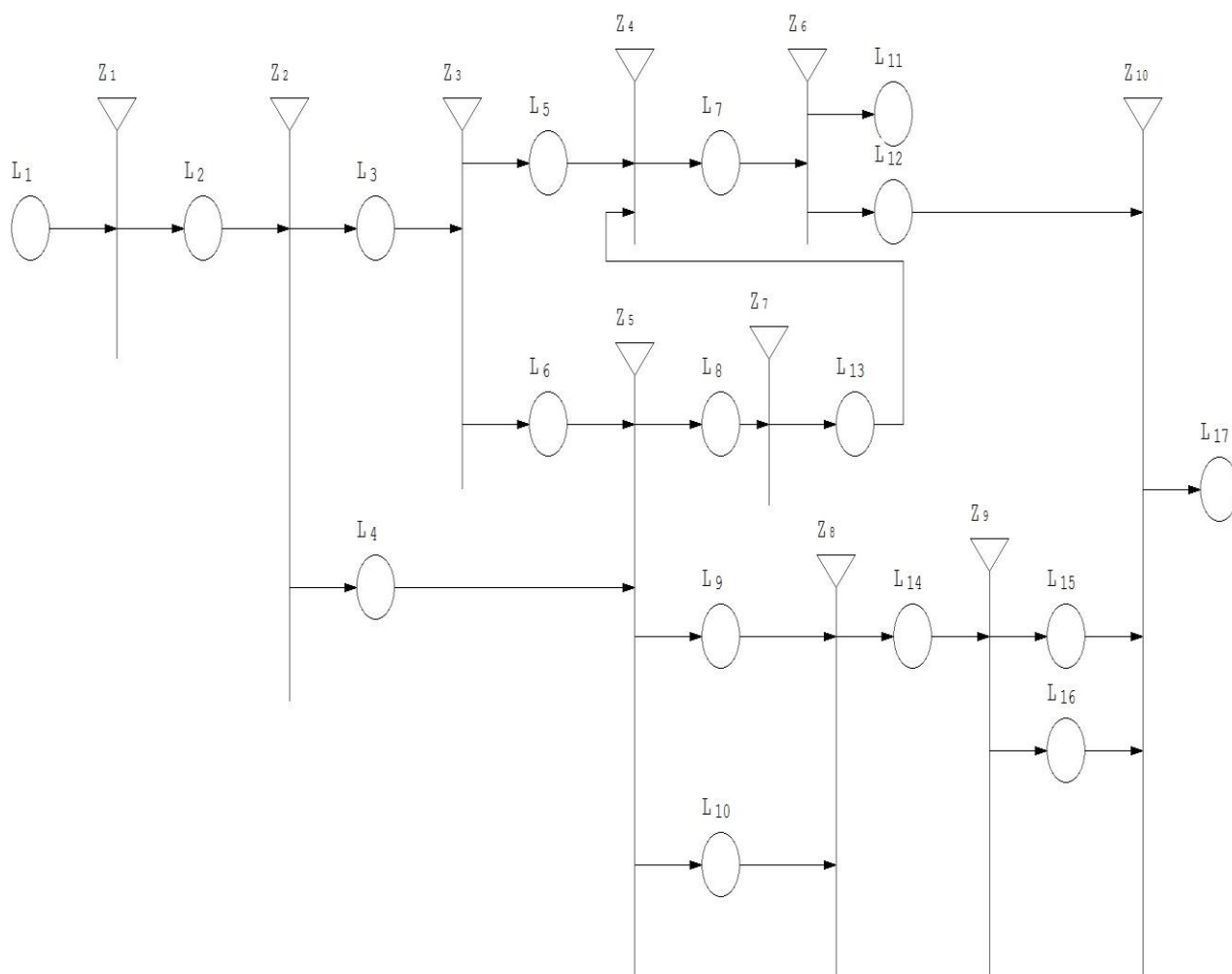
Мускулно-скелетните нарушения са голяма група медицински състояния, протичащи прогресивно и свързани с определена болезненост. Тези състояния са с голямо социално и икономическо значение и са водеща причина за инвалидизация в световен мащаб. От тези нарушения, болката в раменната област е най-честата причина за търсене на медицинска помощ.

Диагностичното поведение и проследяване на болковата симптоматика в раменната област е едно големите предизвикателства в ортопедията и

травматологията. Поради сложността на проблема съществува голям набор от диагностични критерии, като те трябва да изпълнят две основни функции. На първо място трябва да определят дали рамото е основният източник на болка. И второ да се отдиференцира специфичната анатомична структура на засягане. Точната диагноза гарантира правилното лечение и благоприятния изход от заболяването. Взимането на решения в хода на изследването и поставянето на диагноза, изискват детайлно снемане на анамнеза, история на заболяването, преглед и образна диагностика. Именно с тази цел в настоящата точка е предложен алгоритъм за диагностика описан с обобщена мрежа. ОМ-модел е подробно описан в [19].

Обобщеномрежовият модел (фиг.8) има множество А от 10 прехода, където

$$A = \{ Z_1, Z_2, Z_3, Z_4, Z_5, Z_6, Z_7, Z_8, Z_9, Z_{10} \}$$



фиг.8 ОМ на поставяне на диагноза при болкова симптоматика в раменна област

Резултати и Изводи

- Предложен е теоретичен модел на потенциалните фактори водещи до намалена физическа активност и спад във функционалния капацитет на цялото тяло при процеса на стареене
- Предложен е ОМ-модел на измененията настъпващи в горен крайник при процеса на стареене
- Предложен е ОМ-модел за диагностициране на болкова симптоматика в раменна област.

Предложените в Глава 3 от дисертационния труд ОМ-модели показват възможността за приложение на апарата на обобщените мрежи в областта на медицината. Така конструирани моделите биха могли да помогнат при разработване на превантивни и диагностични алгоритми, отдиференциране на нормален от патологичен процес и определяне на функционалния капацитет. От друга страна съхраняването и обработката на личните данни и резултатите от изследванията на пациентите посредством моделите в бази данни и експертни системи ще подпомогне вземането на решение.

Глава 4. Заключение – основни резултати и приноси

Моделният подход, осигурен с достиженията на информационните технологии през годините, се превърна в мощно средство за генериране на решения, оценки, прогнозиране и повишаване на знанията за даден проблем. Дисертационният труд е посветен на приложението на една актуална и бързо развиваща се област на информатиката – теорията на обобщените мрежи. Изследвана е възможността за приложение на обобщените мрежи в областта на биологията и медицината а именно моделирането на човешкото тяло и неговите системи. За първи път чрез обобщени мрежи е моделирана детайлно структура от двигателния апарат и са анализирани логическите връзки между отделните и елементи. В дисертационния труд са изследвани, моделирани и анализирани нервно-мускулните и костно-ставни структури на горен крайник. Моделите представени в глава 2 описват сложното взаимодействие между структурите на горния крайник. Включването на всички описани подробно структури, дава възможност за аналитичното им изследване и симулация при различни условия. Разбирането на логическата последователност при протичане на процесите в определен период от време, практически позволява заместване на дадени стойности и(или компоненти с цел оптимизация и контрол. Например в моделът представен в т. 2.1.3 бихме могли да проследим количеството кръв постъпващо и излизащо от мускулите при определени положения на горния крайник в пространството. Моделите описващи двигателния контрол при извършване на волево и неволево движение, биха дали възможност за проследяване на нормалните стереотипи във функцията на системата, както и отклонения от тези норми. От друга страна представените модели ще послужат като основа за приложение на ОМ-модели в областта на протезирането. Разработването на съвременни протези, с функции доближаващи се до тези на естествените крайници и удобно управление, има голям социален ефект, тъй като помага на инвалидите да се върнат към нормален начин на живот. Разработените модели могат да се свържат с използваната в клиничната практика международна класификация за двигателното функциониране на човека (ICFDH)

При изготвянето на дисертационния труд се появиха редица идеи за бъдещи изследвания. Например при изследването на процеса на стареене и представеният в глава 3 ОМ-модел, възникна идеята за конструиране на модел

описващ подходяща програма (рехабилитационна, двигателна, хранителна) за подържане на физическата дееспособност и забавяне на процеса на стареене.

ОМ-модел представящ рефлекс на отдръпване в т. 2.2.3 може да се усложни и детайлизира с добавянето на повече мускулни групи и двигателни реакции на повече стави от веригата на горен крайник.

Проблемът при усложненото графично представяне на част от моделите ни накарва да се замислим за приложение на някои разширения на стандартните ОМ при описването на реални биологични процеси. В тази връзка се оказва най-подходящо приложението на ОМ с характеристики на позициите, представени за първи път в [4]. Пример за тяхното приложение при описване на биологичен процес е даден в [18], като така значително се улеснява проследяването на ядрата в новопостроеният модел.

Всички предложени ОМ-модели ще бъдат симулирани посредством програмния продукт за симулация, разработван в ИБФБМИ-БАН.

Приноси в дисертационния труд

На основата на получените резултати приносите в дисертационния труд могат да се обобщят като приноси от научно-приложен и приложен характер:

1. Разработени са три обобщеномрежови модела описващи логическите връзки между нервно-мускулните и костно-ставни структури на горния крайник. Моделите ще послужат за изучаване на поведението на тази сложна биологична система.
2. Разработен е обобщеномрежов модел представящ движение в раменен комплекс на горния крайник. Моделът описва сложното взаимодействие и синхрон между структурите на горния крайник при извършване на двигателен акт.
3. Разработен е обобщеномрежов модел на неволево движение на горен крайник, даващ пример за рефлексната дейност на нервната система.
4. Предложен е теоретичен модел на потенциалните фактори водещи до изменения в човешкия организъм при процеса на стареене.
5. Разработен е обобщеномрежов модел на структурните и функционални изменения настъпващи в горен крайник при процеса на стареене.
6. Разработен е обобщеномрежов модел за вземане на решение при изготвяне на диагностичен план за болкова симптоматика в раменна област.

Библиография

- [1] Андонов, В., Обобщени мрежи с характеристики на позициите. Дисертационен труд за придобиване на образователна и научна степен „Доктор“, СНС по информатика, 2015.
- [2] Атанасов, К., Въведение в теорията на обобщените мрежи. Бургас, Понтика Принт, 1992.
- [3] Атанасов, К., Обобщени мрежи. Дисертационен труд за придобиване на образователната и научна степен „Доктор“, СНС по математика, София, 1986.
- [4] Andonov, V., K. Atanassov, Generalized nets with characteristics of the places, Compt. rend. Acad. Bulg. Sci., Vol.66, No.2, 77-88, 2013
- [5] Atanassov, K., Generalized Nets. World Scientific, Singapore, 1991.
- [6] Atanassov, K., On Generalized Nets Theory. "Prof. M. Drinov" Academic Publishing House, Sofia, 2007.
- [7] Atanassov, K. (Ed.) Applications of Generalized Nets, World Scientific, Singapore, 1993.
- [8] Atanassov, K., On the concept "Generalized net", AMSE Review, Vol. 1, 1984, No. 3, 39–48.
- [9] Atanassov, K., V. Tasseva, T. Trifonov. Modification of the Algorithm for Token Transfer in Generalized Nets. Cybernetics and Information Technologies, Vol. 7, 2007, No. 1, 62–66
- [10] Atanassov, K., V.Chakarov, A.Shannon, J.Sorsich, Generalized net models of the human body, "Prof. M. Drinov" Academic Publishing House, Sofia, 2008.
- [11] Atanassov, K., M. Daskalov, P. Georgiev, S. Kim, Y. Kim, N. Nikolov, A. Shannon, J. Sorsich, Generalized Nets in Neurology, Academic Publishing House Prof. M. Drinov, Sofia, 1997
- [12] Atanassov, K., V. Chakarov, A. Shannon, Principal Generalized Net Model of the Human Muscle – skeletal System. In : Proceedings of Scientific Session of Burgas Free University, Burgas , 9-11 June 2006, Vol. III, 392 – 398.
- [13] Chakarov, V., K. Atanassov, V. Tasseva, Application of the generalized nets in medicine (Edemas), First European Conference on Health Care Modelling and Computation, Craiova, Aug.,31 - Sept., 2 2005, 79-86.
- [14] Chakarov, V., K. Atanassov, V. Tasseva, M. Matveev, E. El-Darzi, P. Chountas, I. Petrounias, Generalized net model for some basic clinical administrative decision making, First European Conference on Health Care Modelling and Computation, Craiova, Aug.,31 - Sept., 2 2005, 2-78.
- [15] Ribagin, S., V.Chakarov, K. Atanassov, Generalized net model of the upper limb in relaxed position, New Developments in Fuzzy Sets, Intuitionistic Fuzzy Sets, Generalized Nets and Related Topics, Vol.2: Applications, 201-210
- [16] Ribagin, S., V. Chakarov, K. Atamassov Generalized Net Model of the Upper limb Vascular System, Vol. 2 of Proc. of IEEE 6th Conference on Intelligent Systems, 6-8 September, Sofa, 2012, 221-224.

- [17] Ribagin, S., V.Chakarov, K. Atanasov, Generalized net model of the upper limb withdrawal reflex, New Developments in Fuzzy Sets, Intuitionistic Fuzzy Sets, Generalized Nets and Related Topics, Vol.2: Applications,2014, 71-82.
- [18] Ribagin, S., V. Andonov, V. Chakarov, Possible applications of generalized nets with characteristics of the places. A medical example, Proc. of 14th International Workshop on Generalized nets, 29-30 November, Burgas, 2013, 56-64.
- [19] Ribagin, S., K. Atanasov, A. Shannon, Generalized net model of shoulder pain diagnosis, Issues in intuitionistic fuzzy sets and Generalized nets, Vol.11, Warsaw School of Information Technology, Warsaw, 2014, 55-62.
- [20] Ribagin, S., Generalized net model of age-associated changes in the upper limb musculoskeletal structures, Comptes rendus de l'Académie bulgare des Sciences, Vol.67, Issue No.11, 2014, 1503-1512.
- [21] Ribagin, S., V. Chakarov, K. Atanasov, Generalized net model of the scapulohumeral rhythm, приета за печат в Series in Fuzzyness and Soft Computing, Springer, 2014.
- [22] Shannon, A., J. Sorsich, K. Atanasov, N. Nikolov, P. Georgiev, GN in general and internal medicine, Volume 1, Academic Publishing House Prof. M. Drinov, Sofia, 1998.
- [23] Shannon, A., K. Atanasov, V. Chakarov, Global generalized net model of a human body: an intuitionistic fuzzy approach. Proceedings of the Eight International Conference on Intuitionistic Fuzzy Sets (J. Kacprzyk and K. Atanasov, Eds.), Sofia, 20-21 June 2004, Vol. 2, 75-81.
- [24] Shannon, A., J. Sorsich, K. Atanasov, N. Nikolov, P. Georgiev, GN in general and internal medicine, Volume 1, Academic Publishing House Prof. M. Drinov, Sofia, 1998.
- [25] Sorsich, J., A. Shannon, K. Atanasov, A global generalized net model of the human body. Proc. of the Conf. ``Bioprocess systems'2000'', 11-13 Sept. 2000, Sofia, IV.1-IV.4.
- [26] Sorsich, J., V. Chakarov, A. Shannon, K. Atanasov, Generalized Net Model in use for medical diagnosing, Proceedings of the Fourth Int. Workshop on Generalized Nets, Sofia, 23 September 2003, 8-11.

Списък на публикациите по дисертационния труд

- [1] Ribagin, S., V.Chakarov, K. Atanasov, Generalized net model of the upper limb in relaxed position, New Developments in Fuzzy Sets, Intuitionistic Fuzzy Sets, Generalized Nets and Related Topics, Vol.2: Applications, 201-210
- [2] Ribagin, S., V. Chakarov, K. Atamasov Generalized Net Model of the Upper limb Vascular System, Vol. 2 of Proc. of IEEE 6th Conference on Intelligent Systems, 6-8 September, Sofia, 2012, 221-224.
- [3] Ribagin, S., V.Chakarov, K. Atanasov, Generalized net model of the upper limb withdrawal reflex, New Developments in Fuzzy Sets, Intuitionistic Fuzzy Sets, Generalized Nets and Related Topics, Vol.2: Applications, 2014, 71-82.
- [4] Ribagin, S., V. Chakarov, K. Atanasov, Generalized net model of the scapulohumeral rhythm, приета за печат в Series in Fuzzyness and Soft Computing, Springer, 2014
- [5] Ribagin, S., V. Andonov, V. Chakarov, Possible applications of generalized nets with characteristics of the places. A medical example, Proc. of 14th International Workshop on Generalized nets, 29-30 November, Burgas, 2013, 56-64.
- [6] Ribagin, S., K. Atanasov, A. Shannon, Generalized net model of shoulder pain diagnosis, Issues in intuitionistic fuzzy sets and Generalized nets, Vol.11, Warsaw School of Information Technology, Warsaw, 2014, 55-62.
- [7] Ribagin, S., Generalized net model of age-associated changes in the upper limb musculoskeletal structures, Comptes rendus de l'Académie bulgare des Sciences, Vol.67, Issue No.11, 2014, 1503-1512.