УДК: 615.8:617-055.1

РОЛЬ МЕХАНОТЕРАПИЙ В НЕЙРОРЕАБИЛИТАЦИИ

Сливкина Наталья Владимировна - дмн. Профессор
Гудым Елена Борисовна - Ph.D., старший преподаватель
НАО «Медицинский университет Астана» (Астана, Казахстан)
Бурханова Гулноза Лутфиллоевна - преподаватель
Самаркандский государственный медицинский университет (Самарканд, Узбекистан)

Резюме. *Экзоскелеты представляют собой одну из перспективных технологий, применяемых в реабилитационной медицине, направленную на восстановление утраченных двигательных функций у пациентов с нарушениями опорно-двигательного аппарата. В статье рассмотрены конструктивные особенности активных и пассивных экзоскелетов, принципы их действия, а также сферы применения в медицинской практике, промышленности и военной сфере. Отдельное внимание уделено современным моделям экзоскелетов, разработанных как зарубежными компаниями (ReWalk, HAL, eLEGS, Titan Arm, WREX и др.), так и отечественными производителями, в частности, компанией «MBionics» (Казахстан). Проведена апробация казахстанского экзоскелета на базе кафедры "Реабилитологии и спортивной медицины" Медицинского университета Астана. В исследовании отмечены такие эффекты, как повышение психоэмоционального состояния пациентов, мотивация к занятиям, однако отсутствует достоверное снижение выраженности пареза. Безопасность устройства была подтверждена: случаев травматизации, осложнений или ухудшения состояния не зафиксировано. Авторы подчеркивают необходимость разработки реабилитационных экзоскелетов, ориентированных на потребности пациентов с инвалидностью, для расширения их функциональной и социальной независимости.*

Ключевые слова*: механотерапия, экзоскелет, нейрореабилитация, двигательная активность, лица с ограниченными возможностями, опорно-двигательная система, биомедицинская инженерия*

THE ROLE OF MECHANOTHERAPY IN NEUROREHABILITATION

Slivkina Natalya Vladimirovna - D.M.Sc., professor
Gudym Elena Borisovna - Ph.D., senior lecturer
NAO “Astana Medical University” (Astana, Kazakhstan)
Burkhanova Gulnoza Lutfilloevna - assistant
Samarkand State Medical University (Samarkand, Uzbekistan)

Abstract. *Exoskeletons are one of the promising technologies used in rehabilitation medicine aimed at restoring lost motor functions in patients with musculoskeletal disorders. The article discusses the design features of active and passive exoskeletons, the principles of their operation, as well as the scope of application in medical practice, industry and the military. Special attention is paid to modern models of exoskeletons developed by both foreign companies (ReWalk, HAL, eLEGS, Titan Arm, WREX, etc.) and domestic manufacturers, in particular, MBionics (Kazakhstan). The Kazakhstan exoskeleton was tested based on the «Department of Rehabilitation and Sports Medicine» of Astana Medical University. The study noted such effects as an increase in the psychoemotional state of patients, motivation to study, but there is no significant decrease in the severity of paresis. The safety of the device has been confirmed: no cases of injury, complications or deterioration have been recorded. The authors emphasize the need to develop rehabilitation exoskeletons tailored to the needs of patients with disabilities in order to enhance their functional and social independence.*

Key words: *exoskeleton device, mechanotherapy, neurorehabilitation, rehabilitation, motor activity, disabled persons, mobility limitation, musculoskeletal system, human engineering*

НЕЙРОРЕАБИЛИТАЦИЯДА МЕХАНОТЕРАПИЯНИНГ РОЛИ

Сливкина Наталья Владимировна - т.ф.д,.профессор
Гудым Елена Борисовна - Ph.D., катта ўқитувчи
"Остона тиббиёт университети" НЖ (Остона, Қозоғистон)
Бурханова Гулноза Лутфиллоевна - ўқитувчи
Самарқанд давлат тиббиёт университети (Самарқанд, Ўзбекистон)

Резюме. *Экзоскелетлар — бу нейрореабилитацияда қўлланилаётган истиқболли технологиялардан бири бўлиб, таянч-ҳаракат тизими бузилган беморларнинг йўқолган ҳаракат функцияларини тиклашга йўналтирилган. Ушбу мақолада актив ва пассив экзоскелетларнинг конструктив хусусиятлари, уларнинг ишлаш принциплари ҳамда тиббиёт амалиёти, саноат ва ҳарбий соҳадаги қўлланиш йўналишлари кўриб чиқилган. Алоҳида эътибор хорижий компаниялар (ReWalk, HAL, eLEGS, Titan Arm, WREX ва бошқалар) ҳамда маҳаллий ишлаб чиқарувчилар, хусусан Қозоғистоннинг "MBionics" компанияси томонидан ишлаб чиқилган замонавий экзоскелет моделларига қаратилган. Қозоғистонда ишлаб чиқарилган экзоскелет Астана Тиббиёт Университетининг "Реабилитология ва спорт тиббиёти" кафедраси базасида синовдан ўтказилган. Тадқиқотда беморларнинг психоэмоционал ҳолати яхшиланганлиги, машғулотларга бўлган мотивация ортганлиги каби ижобий таъсирлар қайд этилган, бироқ парезнинг оғирлик даражасини ишончли даражада камайтириш кузатилмаган. Қурилманинг хавфсизлиги тасдиқланган: жароҳатланиш, асоратлар ёки ҳолатнинг ёмонлашуви ҳолатлари аниқланмаган. Муаллифлар ногиронлиги бор беморларнинг эҳтиёжларига йўналтирилган реабилитацион экзоскелетлар ишлаб чиқилиши зарурлигини, бу эса уларнинг функционал ва ижтимоий мустақиллигини кенгайтиришга хизмат қилишини таъкидлайдилар.*

Калит сўзлар: *экзоскелет, нейрореабилитация, механотерапия, ҳаракат фаоллиги, ногиронлиги бор шахслар, таянч-ҳаракат тизими, биотиббий муҳандислик.*

Кириш. "Нейрореабилитация" сўзи ўзбек тилида **неврологик реабилитация** ёки **нейрореабилитация** деб таржима қилинади. Бу соҳа марказий ва периферик нерв тизими шикастланган беморларнинг функцияларини тиклаш, ҳаракат қобилиятини яхшилаш ва мустақил ҳаёт кечириш қобилиятини оширишга қаратилган тиббий ва реабилитацион тадбирлар мажмуасини ўз ичига олади.

Қисқача айтганда, нейрореабилитация — асаб тизими шикастлари (инсульт, жароҳат, парез ва бошқалар) дан кейин беморни қайта ҳаётга қайтариш жараёнидир.

Ҳозирги босқичда ҳаракат функциясини тиклаш, пастки оёқ бўғимларининг ҳаракатчанлигини яхшилаш мақсадида янги турдаги механотерапия — роботлар ёки экзоскелетлар қўлланилмоқда. Роботлаштирилган экзоскелетлар ўтган минг йилликнинг ўрталарида ихтиро қилинган бўлиб, бугунги кунда бу қурилмалар ривожланишнинг янги босқичига чиққан ва беморлар учун янада кўпроқ имкониятларни тақдим этмоқда. Экзоскелетлардан нейрореабилитация мақсадида фойдаланиш айниқса муҳим, биринчидан, дунёда кексалар сонининг ортиб бораётганлиги, иккинчидан эса, умуртқа ва пастки оёқ жароҳатларининг кўпайганлиги билан изоҳланади [1].

Кўпгина қурилмаларнинг компьютерлаштирилган бошқарув тизими тренажёрнинг мустақил ишлашини таъминлайди. Экзоскелет конструкцияси шундай яратилганки, оғирлик асосан тренажёрнинг ўзига тушади, гарчи ускунанинг оғирлиги сезиларли бўлса ҳам. Махсус дастурий таъминот реабилитация жараёнини кузатиш ва уни ўз вақтида тузатиш имконини беради. Ушбу тренажёрдан фойдаланиш орқали беморлар анча тез нормал ҳаётга қайтишлари мумкин [2].

Экзоскелетлардан фойдаланишнинг ўзига хос жиҳати — бу беморларнинг эмоционал ҳолатини яхшиланиши, қон босимини пасайтириш, ўпканинг нафас ҳажмини ошириш, мушак ва суяк тўқималарининг деградациясини олдини олиш, бўғимлар ҳаракатчанлигини оширишдир. Экзоскелет — бу аслида беморнинг мияси вазифасини бажарувчи ақлли электрон тизимдир. Қадам ташлаш истаги бош мияда нерв импульси шаклида ҳосил бўлади ва орқа мия орқали оёқ мушакларига узатилади. Бу импульс экзоскелет томонидан ушланади ва беморга биринчи ҳаракатни амалга оширишга ёрдам беради. Натижада — нейромушак фаоллиги яхшиланади ва янги, барқарор нерв алоқалари шаклланади [3].

Замонавий экзоскелетлар тиббий нейрореабилитациядан тортиб саноат ишлаб чиқаришигача кўплаб соҳаларда қўлланилмоқда. Ушбу бозор тез суръатлар билан ўсмоқда: 2023 йилда глобал даромад жиҳатидан унинг ҳажми 0,7 миллиард АҚШ долларига баҳоланган. *MarketsandMarkets* порталида чоп этилган ҳисоботга кўра, 2028 йилга бориб экзоскелетлар бозори 38,6 фоизга ошади. Ҳозирда экзоскелетлар билан ишлаш бўйича амалий кўникмаларни ўрганиш ишлари олиб борилмоқда. Уларни қуйидаги йўналишларга ажратиш мумкин: янги қурилмаларнинг биомеханик хусусиятларини ўрганиш ва уларнинг қўлланиш схемаларини ишлаб чиқиш [4].

Тадқиқот мақсади. Замонавий экзоскелет моделларининг ишлашини таҳлил қилиш, уларнинг тиббий нейрореабилитацияда қўлланилиши, хавфсизлиги ва беморларнинг функционал имкониятларига таъсирини баҳолаш.

Россиялик тадқиқотчиларнинг маълумотларига кўра, нейрореабилитация жараёнида экзоскелетдан фойдаланиш хавфсиз ва самаралидир. Экзоскелетларда машғулотлар локомотор бузилишларга эга беморларни реабилитация қилишнинг энг асосий йўналишларидан бири ҳисобланади. Тадқиқотлар шунӣ кўрсатдики, экзоскелет ёрдамида ўтказилган машғулотлар натижасида ҳаракат функцияси, спастиклик, қон босими, овқат ҳазм қилиш ва сийдик чиқариш

тизими функцияларидаги бузилишлар қисқа муддат ичида тикланган [5].

Алоҳида эътиборни пассив экзоскелетларга қаратиш керак, улар асосан ҳарбий мақсадларда қўлланилмоқда. Бундай экзоскелетлар оғирлиги 2 кг дан бошланади, эргономик, техник хизмат кўрсатишда қулай бўлгани учун узоқ экспедициялар, ҳарбий юришлар ва фавқулодда вазиятлар ҳудудида ажралмас ёрдамчига айланади. Ушбу тизим яратувчилари уни пастки оёқ функцияси бузилган беморларда ҳам қўллаш мумкинлигини таъкидлашади [6].

Россиялик олимлар ҳарбийлар ва ФВВ қутқарувчилари учун пассив экзоскелетнинг ишлайдиган намуналарини яратдилар. Бу қурилма операторга 100 кг гача юкларни кўтаришга ёрдам беради, шунингдек, ҳарбий ҳужум қалқонини олиб юришдаги юкламани камайтиришга хизмат қилади [7].

Шунингдек, олимлар томонидан айниқса юқори экстремиталар функцияси бузилган одамлар учун экзоскелетларга қўйиладиган клиник-анатомик мезонлар шакллантирилди. Экзоскелет соғлом одамнинг ҳаракат ҳажмига яқин бўлган ҳаракат амплитудасига эга бўлиб, бу ногиронлиги бор инсонларни абилитация ва реабилитациядан ўтказиш, шунингдек, уларнинг ижтимоий мослашувига имконият яратади. Экзоскелетлардан фойдаланиш юриш пайтида юзага келадиган метаболик сарфларни камайтиради, шу сабабли бу қурилмалар инсультдан сўнг ва орқа мия жароҳатидан кейинги реабилитация жараёнида юришни ўргатишда ва йўқолган функцияларни тиклашда муваффақиятли қўлланилмоқда [8].

Аралаш турдаги — актив ва пассив экзоскелет моделлари мавжуд. Актив моделни ишлатиш учун ташқи энергия манбалари талаб қилинади, пассив экзоскелетлар эса инсоннинг кинетик энергияси ва жисмоний кучига асосланган механизм билан ишлайди. Актив экзоскелетлар, шунингдек, ҳарбий мақсадларда ҳам кенг қўлланилмоқда, масалан, дала шароитида ҳаракатланувчи ҳарбий хизматчилар учун махсус костюм сифатида.

Ҳаракатланишда қийинчиликларга эга шахслар учун *eLEGS* (*Ekso Bionics*, АҚШ) туридаги экзоскелетлар қўлланилади — бу қисман фалажланган пастки экстремиталарига эга беморлар учун мўлжалланган махсус гидравлик экзоскелетдир. Унинг ишлаш механизми — инсоннинг табиий ҳаракатларини хавфсиз тарзда экзоскелет ҳаракатига айлантирувчи аппарат-дастурий интерфейс асосига қурилган бўлиб, бу микрокомпьютер орқали бошқарилади [9].

Пенсилвания университети олимлари *Titan Arm* деб номланган юқори экстремита учун мўлжалланган актив экзоскелетни ишлаб чиқдилар. Унинг конструкцияси арзонроқ бўлиб, баъзи қисмлари 3D-принтерда чоп этилгани сабабли ишлаб чиқариш харажатлари ҳам камайган. Ушбу тизим орқага маҳкамланадиган аккумуляторлар билан таъминланади ва ҳаракатлантирувчи махсус симлар орқали ишлайди [10].

Хорижий адабиётларда пассив экзоскелетлар қуйидаги тарзда тасвирланган: уларнинг вакилларидан бири — Гарвард университети, Жанубий Калифорния университети, Массачусетс Технология Институти ва *BioScience* кийиладиган сенсорлар ишлаб чиқарувчилари томонидан яратилган юмшоқ пневматик роботдир. Пассив экзоскелет енгил сенсорли детекторлар ва дастурий таъминот орқали бошқарилади. Қурилма юмшоқ эластик полимердан тайёрланган. Ҳозирча бу аппарат фақат болдирга тақилади ва бу қисмнинг биологик тузилмаси аниқ такрорланган. Янги қурилмада олд болдир мушакларига мос учта сунъий мушак ва орқа мушакка мос битта мушак мавжуд. Сунъий пайлар (пўлат кабеллар) ушбу мушакларнинг учидан то пўпиққа қадар чўзилган бўлиб, пўпиқни ҳаракатлантиришга хизмат қилади. Акс алоқани таъминлаш учун пўпиқнинг юқори ва ён томонларида жойлаштирилган гиперэластик тензометрия сенсорларидан фойдаланилади [11].

Экзоскелетнинг ҳаракатчанлиги мослашувчан материаллар ёрдамида таъминланади, бироқ бу турдаги қурилмаларни оддий қаттиқ материаллардан тайёрланган экзоскелетларга нисбатан бошқариш анча қийин. Тадқиқотлар шуни кўрсатдики, бу қурилма пўпиқни 27 даражали ҳаракат диапазонида ҳаракатлантира олади, бу эса нормал юриш учун етарли. Ҳозирги вақтда олимлар ушбу экзоскелет конструкциясини такомиллаштириш устида ишламоқда, шунда ҳаракатланиш билан боғлиқ реал муаммолари бўлган беморлар учун уни кийиш қулай бўлади [12–15].

Юқори экстремита учун мўлжалланган экзоскелетларга келсак, АҚШ олимлари томонидан беморнинг ўзидан келаётган нейрон сигналлари орқали бошқариладиган актуаторлар ёрдамида ҳаракатланадиган робот ишлаб чиқилган бўлиб, бу қўлни барча йўналишларда ҳаракатлантириш имконини беради. Бундай экзоскелетнинг асоси инсоннинг қўлини (елка, кафт) бирор йўналишда силжитиш истагидир. Қурилма бу истакни юзаки инвазив бўлмаган электромиография — яъни, мушакларга бораётган биотокларни қайд этувчи сенсорлар тўплами орқали аниқлайди. Ҳаракатни бошловчи биринчи миоэлектрик сигналлар пайдо бўлиши билан мушак ҳаракати бошланиши ўртасидаги кўз билан илғаб бўлмайдиган оралиқ вақтни компютер таҳлил қилиб, қўлнинг кутилган ҳаракатини ҳисоблаб чиқади. Натижада робот костюмдаги сенсорлар мушак қисқаришлари билан мутлақ синхрон ишлайди ва фойдаланувчи қўлини эгмоқчи бўлган йўналишда "босим" ҳосил қилади, яъни биопод деб номланувчи бошқарув тизими

шаклланади. Бироқ импулсларни узатиш тизими ҳали мукаммал эмас, бу эса беморларнинг ўзўзига хизмат қилиш кўникмаларини шакллантиришни имконисиз қилади ва уларни тўлиқ бошқаларга боғлаб қўяди [16].

Энг талаб юқори бўлган ишланмалардан бири — Делавер штати университети олими Тарик Раҳмон раҳбарлигидаги тадқиқотчилар томонидан яратилган. Бу қурилма *WREX* (*Wilmington Robotic Exoskeleton*) номини олган. У юқори экстремиталари заиф бўлган болалар учун мўлжалланган. *WREX* — бу одатда ногиронлар аравачасига ўрнатиладиган ҳаракатланувчи қўллаб-қувватловчи тизим бўлиб, ҳаракатларни кичик куч билан бажаришга имкон беради. Унинг конструкцияси қўл ҳаракатларини уч йўналишда чекланган амплитудада бажаришга имкон яратади [17].

Қозоғистондаги **"MBionics"** компанияси томонидан ишлаб чиқилган экзоскелет Астана тиббиёт университетининг "Реабилитология ва спорт тиббиёти" кафедрасида синовдан ўтказилди.Экзоскелетни синовдан ўтказиш шуни кўрсатдики, барча беморлар (100%) дастлабки икки машғулотда йиқилиб тушиш қўрқувини бошдан кечирганлар, айниқса стулдан туриш пайтида. Битта ҳолатда (16,7%) бу қўрқув тажрибаларни давом эттиришдан бош тортишга сабаб бўлган. Шунингдек, дастлабки икки машғулотда беморлар қурилманинг маҳкамлаш жойларида — қорин ва сон соҳаларида оғриқ ҳис қилишган. Бироқ, фақат учинчи машғулотдан бошлаб, тадқиқотни давом эттирган беш беморнинг барчасида психоэмоционал ҳолатнинг сезиларли яхшиланиши, қўрқув ҳиссининг камайиши, қониқарли аҳвол ва машғулотларга бўлган мотивация кузатилган [18].

Синовлар экзоскелетни қўллашнинг тўлиқ хавфсизлигини кўрсатди — тана, пастки экстремиталар юмшоқ тўқималари, боғимлар ва умуртқа соҳасида жароҳатланиш хавфи аниқланмади. Беморларнинг пастки экстремиталаридаги тонус ва пастки парапарез оғирлиги даражаси ўзгармади. Ўтказилган тадқиқотлар ушбу экзоскелетнинг пастки экстремиталардаги парез/плегиянинг оғирлик даражасини камайтириш ёки беморнинг мустақил ҳаракатланиш қобилиятини тиклашда самарадорлигини кўрсатмади. Шу билан бирга, ушбу қурилма беморга экзоскелет ёрдамида ҳаракатланиш имкониятини яратади, бу эса унинг ўз-ўзига хизмат кўрсатиш имкониятларини сезиларли даражада кенгайтиради.

Хулоса: Юқоридагилардан қуйидаги хулосаларни чиқариш мумкин:

Актив экзоскелетлар кўпроқ ҳаракатларни амалга ошириш имконини беради, бироқ улар ташқи қувват манбаларига боғлиқ.

Уларнинг юқори нархи ва катта ўлчамлари, хусусан, тиббиётда кенг қўлланилишига тўсқинлик қилади.

Пассив экзоскелетлар бундай камчиликларга эга эмас: улар ташқи қувват манбаларига боғлиқ эмас, оғирлиги енгилроқ ва ишончлилиги юқорироқ. Уларнинг нархи ва хизмат кўрсатиш харажатлари ҳам анча паст.

Ҳозирги пайтда мавжуд аксарият моделлар ҳарбий саноатга мўлжалланган бўлиб, уларнинг техник ҳужжатлари очиқ манбаларда деярли мавжуд эмас, кўпинча махфий сақланади. Бу моделлар асосан соғлом инсонлар (ҳарбий хизматчилар) учун мўлжалланган.Бугунги кунда энг муҳим вазифа — ногиронлар учун йўқолган функцияларни тиклаш орқали уларни кундалик ҳаётда мустақил ҳаракатланишга мос экзоскелетлар ишлаб чиқишдир.

АДАБИЁТЛАР

1. Экзоскелет. Википедия. URL: http://ru.wikipedia.org/?oldid=67717712.

2. Polymedex HG Экзоскелет для реабилитации. Интернет-ресурс. 29.08.19 ttps://polymedex.org/blog/ekzoskelet-dlya-reabilitacii

3. Binkiewicz-Glinska A., Sobierajska-Rek A., Bakula S., Wierzba J., Drewek K., Kowalski I.M., Zaborowska-Sapeta K. Arthrogryposis in infancy, multidisciplinary approach: case report. BMC Pediatr 2013; 13: 184, http://dx.doi.org/10.1186/1471-2431-13-184.

4. HULC. Lockheed Martin. URL: http://www.lockheedmartin.com/us/products/hulc.html.

5. Бедняк С.Г., Еремина О.С. Роботизированные экзоскелеты HAL (почувствуй себя HAL'ком). В кн.: Сборник научных трудов Sworld. Вып. 2. Т. 1. Одесса; 2014; с. 49–51. Борисов А.В. Автоматизация проектирования стержневых экзоскелетов. Мехатроника, автоматизация, управление 2014; 10: 29–33.

6. Воробьев А.А., Петрухин А.В., Засыпкина О.А., Кривоножкина П.В. Клинико-анатомичесое обоснование требований к разработке экзоскелетов верхней конечности. Оренбургский медицинский вестник 2014; 3(II): 14–18.

7. Воробьев А.А., Петрухин А.В., Засыпкина О.А., Кривоножкина П.В.,Поздняков А.М. Экзоскелет, как новое средство абилитации и реабилитации инвалидов СТМ 2015 том 7 № 2 С 186-190

8. А.А. Воробьев, О.А. Засыпкина, П.С. Кривоножкина, А.В. Тетрухин, А.М. Поздняков «Экзоскелет – состояние проблемы и перспективы внедрения в систему абилитации и реабилитации инвалидов (аналитичексий обзор). Вестник ВолгГМУ, выпуск 2(54). 2015 стр 9-17

9. Chen Y., Li G., Zhu Y., Zhao J., Cai H. Design of a 6-DOF upper limb rehabilitation exoskeleton with parallel-actuated joints. Biomed Mater Eng

2014; 24(6): 2527–2535, http://dx.doi.org/10.3233/BME-141067.

10. Aach M., Cruciger O., Sczesny-Kaiser M., Höffken O., Meindl R.Ch., Tegenthoff M., Schwenkreis P., Sankai Y., Schildhauer T.A. Voluntary driven exoskeleton as a new tool for rehabilitation in chronic spinal cord injury: a pilot study. Spine J 2014; 14(12): 2847–2853, http://dx.doi.org/10.1016/j.spinee.2014.03.042.

11. Di Russo F., Berchicci M., Perri R.L., Ripani F.R., Ripani M. A passive exoskeleton can push your life up application on multiple sclerosis patients. PLoS One 2013; 8(10): e77348, http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0077348.

12. López N.M., de Diego N., Hernández R., Pérez E., Ensinck G., Valentinuzzi M.E. Customized device for pediatric upper limb rehabilitation in obstetric brachial palsy. Am J Phys Med Rehabil 2014; 93(3): 263–266, http://dx.doi.org/10.1097/PHM.0b013e3182a51c95

13. A.A. Vorobev, O.A. Zasyipkina, P.S. Krivonozhkina, A.V. Tetruhin, A.M. Pozdnyakov «Ekzoskelet – sostoyanie problemyi i perspektivyi vnedreniya v sistemu abilitatsii i reabilitatsii invalidov (analiticheksiy obzor). Vestnik VolgGMU, vyipusk 2(54). 2015 str 9-1

14. Шевченко Ю.Л., Даминов В.Д., Горохова И.Г., Ткаченко П.В., Уварова О.А., Карташов А.В. Антигравитационные технологии восстановления ходьбы в нейрореабилитации. Кл. патофизиология. 2016; 22. (1): 134-141.

15. Raytheon XOS 2 exoskeleton, second-generation robotics suit, United States of America. URL: http://www.army-technology.com/projects/raytheon-xos-2-exoskeleton-us (дата обращения: 27.12.2014).

16. Mooney L.M., Rouse E.J., Herr H.M. Autonomous exoskeleton reduces metabolic cost of human walking. J Neuroeng Rehabil 2014; 11(1): 151, http://dx.doi.org/10.1186/1743-0003-11-151.

17. Shevchenko Yu.L., Daminov V.D., Gorohova I.G., Tkachenko P.V., Uvarova O.A., Kartashov A.V. Antigravitatsionnyie tehnologii vosstanovleniya hodbyi v neyroreabilitatsii. Kl. patofiziologiya. 2016; 22. (1): 134-141

18. Кастальский И.А., Хоружко М.А., Скворцов Д.В. Система функциональной электрической стимуляции мышц для интеграции в экзоскелете. Клиническая медицина. 2018 т. 10 №3 С 104-108