

ӘОЖ 004.421
FTAXP 50.53.17

<https://doi.org/10.55452/1998-6688-2024-21-3-78-89>

^{1*}**Базарбеков И.М.,**

докторант, сениор-лектор, ORCID ID: 0009-0001-1917-169X,

*e-mail: ikram.bazarbekov@gmail.com

¹**Ипалакова М.Т.,**

т.ғ.к., қауымдастырылған профессор, ORCID ID: 0000-0002-8700-1852,

e-mail: m.ipalakova@iitu.edu.kz

¹**Дайнеко Е.А.,**

PhD, қауымдастырылған профессор, ORCID ID: 0000-0001-6581-2622,

e-mail: y.daineko@iitu.edu.kz

¹**Муханов С.М.,**

PhD, ассистент-профессор, ORCID ID: 0000-0001-8761-4272,

e-mail: s.mukhanov@iitu.edu.kz

¹Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті,
050040, Алматы қ., Қазақстан

АЛЬЦГЕЙМЕР АУРУЫН ДИАГНОСТИКАЛАУҒА АРНАЛҒАН ROBO-PEN-НІҢ ДЕРЕКТЕРІН ӨНДЕУ ЖӘНЕ ТАЛДАУ: АЛДЫН АЛА НӘТИЖЕЛЕР

Аңдатпа

Альцгеймер ауруы (АА) қазіргі заманғы медицинаның алдында тұрған маңызды мәселе болып табылады, оның тиімді басқарылуын қамтамасыз ету үшін ерте және дәл диагностикалық әдістер қажет. Бұл зерттеуде когнитивті төмендеудің ерте белгілерін анықтау мақсатында жазу процесін егжей-тегжейлі талдау арқылы жасалған инновациялық диагностикалық құрал – Robo-pen-нің құрастырылуы мен қолданылуы қарастырылады. MPU-9250 сенсорымен жабдықталған Robo-pen қолжазба қозғалыстарының үш өлшемді координаттарын, жылдамдығын және үдеуін тіркейді. Бұл параметрлер кеңістікті бақылауды, қозғалыс біркелкілігін, жылдамдық өзгерістерін және қозғалыс жылдамдығы мен күшін реттеу қабілетін бағалау үшін маңызды, өйткені олар когнитивтік бұзылыстар кезінде, мысалы, АА-да жиі өзгереді. Зерттеуге жасы мен білім деңгейі бойынша сәйкестендірілген АА диагнозы қойылған 20 пациенттен тұратын Альцгеймер тобы (АТ) және 18 дені сау адамнан тұратын бақылау тобы (БТ) қатысты. Деректер сөйлемдерді қайта жазу, фигураларды қайта салу және сандарды қайта жазу сияқты тапсырмаларды орындау нәтижесі негізінде жиналды. Деректер 18 Гц дискреттеу жиілігімен CoolTerm бағдарламасы арқылы өңделді. Сипаттамалық статистика АА тобында гироскоп пен акселерометр деректерінің орташа мәндерінің төмен екенін көрсетті, бұл бақылау тобымен салыстырғанда баяу және аз өзгеретін қозғалыстарды көрсетеді. Т-тесттер барлық өлшенген параметрлер бойынша АА және бақылау топтары арасында айырмашылықтың барын растады ($p < 0.001$). Нәтижелер Robo-pen АА-ны ерте кезеңде анықтау үшін инвазивті емес және үнемді диагностикалық құрал деген тұжырымды қолдайды. Нәзік нейромоторлық өзгерістерді тіркеу арқылы Robo-pen ерте кезеңдегі диагностикаға және уақытылы араласуға ықпал етуі мүмкін, бұл өз кезегінде аурудың ағымын өзгертіп, пациенттердің нәтижелерін жақсарты алады. Бұл зерттеу Robo-pen-нің АА-ны ерте кезеңде анықтаудағы маңызды жетістік, нейродегенеративті ауруларды диагностикалау мен басқарудағы әлеуетті құрал ретіндегі мүмкіндігін көрсетеді.

Тірек сөздер: Альцгеймер ауруы, жеңіл когнитивті бұзылыстар, Robo-pen, жазу, деректерді талдау.

Кіріспе

Альцгеймер ауруы (АА) қазіргі заманғы медицина мен қоғамдағы ең маңызды мәселелердің бірі, ол есте сақтау қабілетінің, когнитивті функциялардың және мінез-құлық қабілеттерінің біртіндеп төмендеуімен сипатталады және бүгінде бүкіл әлем бойынша миллиондаған адам-

дарға әсер етуде. Әлем халқының жасы ұлғайған сайын АА таралуы артады деп күтілуде, бұл аурудың таралу траекториясын жақсырақ басқару мен болжамдап өзгерту ерте және дәл диагностикалық әдістерді қажет етеді [1].

Альцгеймер ауруының (АА) диагностикасындағы дәстүрлі әдістер көбінесе нейробейнелеу, мысалы, МРТ және ПЭТ сканерлеу, сондай-ақ психикалық жағдайды бағалаудың қысқаша шкаласы (MMSE – Mini-Mental State Examination) сияқты когнитивті тестілеу құралдарына негізделген. Дегенмен, бұл әдістер қымбат, ресурстарды қажет етеді және айқын клиникалық белгілерсіз әрдайым түпкілікті нәтиже бере бермейді. Когнитивті құлдыраудың ерте белгілерін, әсіресе елеулі симптомдар пайда болғанға дейін анықтай алатын инновациялық, инвазивті емес және үнемді диагностикалық құралдарға шұғыл қажеттілік туындап отыр [2].

Қолжазбаны талдау осы тұрғыда перспективалы бағытты ұсынады. Бұл әдіс когнитивті, моторлық және кеңістіктік қабілеттерді үйлестіруді қамтитын күрделі нейромоторлық тапсырма ретінде қарастырылады, ал бұл қабілеттер АА-ның ерте кезеңдерінде жиі бұзылады [3]. Қысым, жылдамдық және ырғақ сияқты қолжазба ерекшеліктеріндегі нәзік өзгерістер когнитивті құлдыраудың алғашқы көрсеткіштері болуы мүмкін. Алайда, қолжазбаны талдаудың дәстүрлі әдістері субъективті болып келеді және ерте АА-мен байланысты кішігірім ауытқуларды анықтауда сезімталдығы жеткіліксіз.

Бұл зерттеу Robo-реп құрылғысын әзірлеу, калибрлеу және қолдануды егжей-тегжейлі сипаттауға бағытталған, сондай-ақ Альцгеймер ауруымен күресуде трансформациялық құрал ретінде оның әлеуетін көрсетеді. Біз АТ және БТ шағын топтарынан жиналған деректерді талдаудың бастапқы нәтижелерін ұсынып, бұл инновациялық құрылғының ерте және дәлірек диагноз қоюға қалай көмектесетінін зерттеп жатырмыз. Сайып келгенде, бұл құрылғы пациенттердің нәтижелерін жақсартып, күтім көрсетушілер мен денсаулық сақтау жүйелеріне жүктемені азайтуға ықпал етуі мүмкін.

Әдебиетке шолу

Альцгеймер ауруы кезіндегі қолжазба мен когнитивті функция арасындағы байланыс инвазивті емес диагностикалық маркерлерге деген ұмтылысты ерекше атап көрсетіп, айтарлықтай ғылыми қызығушылық тудырып отыр. Бұл әдебиетке шолу негізгі тұжырымдарды синтездеп, қарама-қайшы дәлелдерді зерттейді және Robo-реп технологиясын қолданатын қазіргі зерттеу шешуге тырысатын олқылықтарды көрсетеді.

Қолжазбаның Өзгерісі және Когнитивті Құлдырау: Қолжазбаның нашарлауы когнитивті құлдыраудың ерте көрсеткіші ретінде барған сайын танылып келеді. Смит және басқалар (2019 ж.) жүргізген мета-анализ Альцгеймер ауруы бар науқастарда қолжазба қабілеттерінің айтарлықтай нашарлайтынын растады, әсіресе қолтаңба сияқты автоматты процестерге қарағанда, құрылымдық жазу тапсырмаларында [4]. Бұл қолжазбаның Альцгеймер ауруының ерте сатысын диагностикалау құралы ретіндегі әлеуетін көрсетеді.

Кинематикалық Талдау: Жазу жылдамдығы мен қысымы сияқты қолжазбаның кинематикалық ерекшеліктері Альцгеймер ауруының ықтимал маркерлері ретінде анықталды. Джонсон мен Ли (2021 ж.) ерте Альцгеймер ауруы бар науқастарда жазу жылдамдығының баяулап, қысымның өзгергіштігінің артуы байқалатынын анықтады, бұл ұсақ моториканы басқаруды реттейтін нейрондық жолдардың деградациясын көрсетеді [5]. Алайда, бұл нәтижелер жалпыға бірдей қабылданбайды, кейбір зерттеулер Альцгеймер ауруы бар науқастар мен сау бақылаушыларды салыстырғанда бұл параметрлерде айтарлықтай айырмашылықтар жоқ екенін хабарлады [6].

Қысым Ерекшеліктері және Нейропсихологиялық Корреляциялар: Әдебиетте қолжазба қысымы мен когнитивті құлдырау арасындағы байланыс туралы аралас тұжырымдар келтірілген. Дэвис пен Карим (2020 ж.) Альцгеймер ауруы бар науқастар арасында қысымның артуы мен жылдамдықтың төмендеуі туралы хабарлағанымен [7], Томпсон және т.б. (2022 ж.) бұл айнымалылардың аурудың сенімді болжаушылары болып табылмайтынын анықтады,

бұл қолжазбаның осы сипаттамаларына қосымша факторлардың әсер етуі мүмкін екенін көрсетеді [8].

Қолжазбаны Талдаудағы Машиналық Оқу: Қолжазбаны талдауда машиналық оқыту әдістерін қолдану айтарлықтай әдістемелік ілгерілеуді білдіреді. Грин және басқалар (2018 ж.) нейрондық желілерді қолданып, қалыпты когнитивті қартаю мен Альцгеймер ауруының ерте сатысын ажыратуда жоғары дәлдікке қол жеткізді [9]. Перспективалы нәтижелерге қарамастан, бұл зерттеулер көбінесе шағын үлгі көлемдерін және қолжазба тапсырмаларының шектеулі ауқымын қамтиды, бұл олардың жалпылануын шектеуі мүмкін.

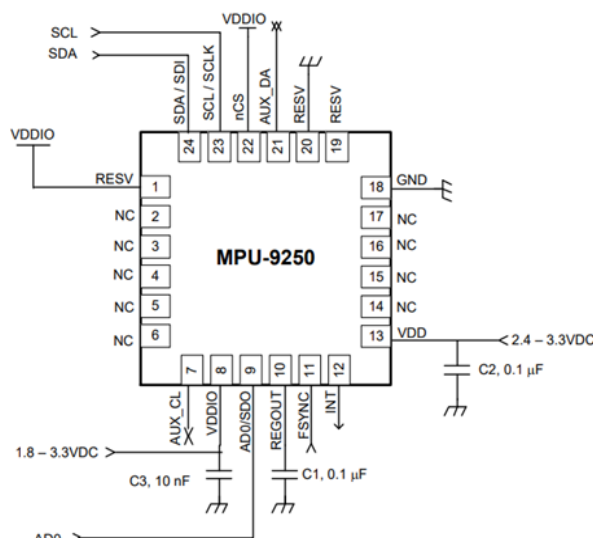
Ағымдағы Зерттеулердегі Олқылықтар: Әдебиеттегі елеулі олқылықтардың бірі – қолжазбаны диагностикалық әлеуетін толық ашатын тәсілдермен түсіру мен талдаудың стандартталған әдістемелерінің жоқтығы. Сонымен қатар, Альцгеймер ауруы бар науқастарды қалыпты қартаюды бастан өткергендермен салыстырғанда, уақыт өте келе қолжазбаның өзгеруін бақылау үшін бойлық зерттеулер жүргізу қажет.

Жетілдірілген сенсорлар мен аналитикалық мүмкіндіктермен жабдықталған Robo-пен осы шектеулерді жоюға бағытталған. Қолжазбаның егжей-тегжейлі үш өлшемді талдауын қамтамасыз ете отырып, Robo-пен нәзік нейродегенеративті өзгерістерді клиникалық тұрғыдан анықталғанға дейін тіркеу арқылы Альцгеймер ауруының ерте диагностикасының сезімталдығы мен ерекшелігін арттыруға бағытталған.

Негізгі ережелер

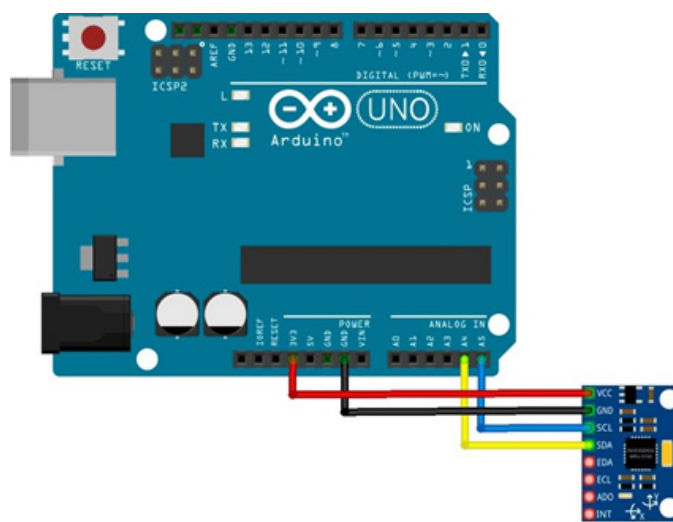
Robo-пен әзірлеу процесі келесі төрт кезеңнен тұрды:

1. Концептуализация. Robo-пен-ның бастапқы тұжырымдамасы инвазивті емес, дәл және қолдануға оңай Альцгеймер диагностикасы үшін инновациялық құралды әзірлеу қажеттілігінен туындады. Дамудың мақсаты Альцгеймер ауруымен байланысты когнитивті құлдыраудың алғашқы белгілері болып табылатын ұсақ моториканы және жазу тәсіліндегі өзгерістерді тануға қабілетті құрылғыны құру болды. Robo-пен жетілдірілген сенсорлық технологиямен, атап айтқанда MPU-9250 сенсорымен жабдыкталуы керек еді (1-сурет) нақты уақыт режимінде осы әрең байқалатын мотор қозғалыстарын бақылауға және талдауға мүмкіндік береді. Түпкі мақсат Альцгеймер ауруын уақтылы араласу мен күтімді қамтамасыз ете отырып, қарапайым және түсінікті түрде ерте диагностикалау мен бақылауды жеңілдету болды.



Сурет 1 – MPU-9250 сенсорының архитектурасы

2. Дизайн және жобалау. Robo-пен жобалау процесі құрылғының клиникалық және функционалдық мақсаттарына жетуін қамтамасыз ету үшін невропатологтар, инженерлер және дизайнерлер арасындағы пәнаралық ынтымақтастықты қамтыды. Инженерлік кезең MPU-9250 сенсорын дәстүрлі қаламның механикалық компоненттерімен біріктіруге бағытталған. Бұл интеграция сенсорды оның эргономикалық дизайнына нұқсан келтірместен қаламның корпусына сыйғызу үшін миниатюризациялауды қажет етті. Жазу кезінде қолдың қозғалысы туралы деректерді дәл түсіруді қамтамасыз ету үшін сенсордың орналасуына ерекше назар аударылды. Инженерлік топ сонымен қатар деректерді жинау мен өңдеуді оңтайландыру үшін MPU-9250 сенсорына арналған арнайы микробағдарламаны әзірледі, бұл құрылғының қысымды, жылдамдықты және үш өлшемді қозғалысты қоса алғанда, жазу динамикасының жан-жақты деректер жинағын түсіре алуын қамтамасыз етеді [10].



Сурет 2 – MPU-9250-ді Arduino Uno-ға қосу

2. Прототиптеу. Прототиптеу кезеңі оның дизайны мен функционалдығын жақсарту үшін Robo-пен-нің бірнеше итерациясын жасауды қамтыды. Бастапқы прототиптер сенсорлардың сезімталдығы мен деректердің дәлдігіне қатысты мәселелерді анықтады, әсіресе қолжазбадағы қалыпты вариациялар мен когнитивті құлдырауды көрсететіндерді ажырату кезінде.



Сурет 3 – Robo-пен прототипі

Осы қиындықтарды жеңу үшін топ MPU-9250 сенсоры жинаған деректерді талдау үшін машиналық оқыту алгоритмдерін қолданды, бұл жүйеге қолжазба стильдерінің кең ауқымынан үйренуге және Альцгеймер ауруымен байланысты өзгерістерге тән үлгілерді анықтауға мүмкіндік берді. Қосымша прототиптер қаламның эргономикасы мен пайдаланушы интерфейсін жақсартуға, оның ұзақ уақыт пайдалануға ыңғайлы болуын және пайдаланушылардың құрылғыны оңай түсінуін және онымен өзара әрекеттесуін қамтамасыз етуге бағытталған. 3-суретте қаламның прототипінің суреті көрсетілген.

3. Сынау және валидациялау. Robo-pen-ді сынау және валидациялау зертханалық зерттеулер мен адам субъектілерімен жүргізілген пилоттық зерттеулердің кешенді сериясын қамтыды. Сенсордың дәлдігін калибрлеу және қаламның механикалық беріктігін бағалау үшін зертханалық зерттеулер жүргізілді. Пилоттық зерттеулерге әр түрлі жас топтары мен танымдық қабілеттері бар қатысушылар қаламды бақыланатын ортада қолдана алды, онда олардың жазу қимылдары жазылып, талданды. Бұл зерттеулер Альцгеймер ауруының ерте белгілерін анықтауда құрылғының тиімділігін растауға бағытталған. Нәтижелер перспективалы болды, бұл ерте когнитивті бұзылыстары бар қатысушыларды анықтауда жоғары сезімталдық пен ерекшелікті көрсетті. Қатысушылардың пікірлері сонымен қатар пайдаланушының жайлылығы мен пайдаланудың қарапайымдылығына баса назар аударып, қаламның дизайнын одан әрі жетілдіруге негіз болды.

Осылайша, Әзірленген Robo-pen-нің келесі мүмкіндіктері бар:

- ♦ 3 осьті гироскопты қолдану: сезімталдығы секундына ± 2000 градусқа дейін, бұл бағдар мен айналуы дәл өлшеуге мүмкіндік береді;

- ♦ 3 осьті акселерометр: сызықтық үдеу мен қозғалысты анықтауға мүмкіндік беретін сезімталдық ± 2 г-ден ± 16 г-ға дейін;

- ♦ 3 осьті магнитометр: компас тақырыбының дәлдігін, позицияны жақсартуды және навигация функцияларын қамтамасыз етеді;

- ♦ Digital Motion Processor™ (DMP): негізгі процессорға жүктемені азайтып, нақты уақыт режимінде қозғалысты талдауды қамтамасыз ете отырып, 9 осьті Қозғалыс Синтезінің күрделі алгоритмдерін өңдей алады;

- ♦ Қуатты аз тұтыну: мобильді құрылғыларға арналған, портативті қосымшаларда батареяның қызмет ету мерзімін ұзарту үшін қуатты үнемдеу режимдері бар;

- ♦ Жоғары Дәлдікті қамтамасыз ету: нәзік қозғалыстар мен бағдардың өзгеруін анықтауға мүмкіндік беретін жоғары ажыратымдылықтағы сенсор деректерін ұсынады.

Келесі себептерге байланысты MPU-9250 сенсорының мүмкіндіктері Альцгеймер ауруымен байланысты ұсақ моторлы қозғалыстарды анықтауда қолайлы [11]:

1. Жоғары сезімталдық пен дәлдік: сенсордың үдеудегі, бағдарлаудағы және магнит өрістеріндегі шамалы өзгерістерді анықтау қабілеті ұсақ моторикадағы нәзік өзгерістерді анықтауға мүмкіндік береді. Бұл Альцгеймер ауруы кезінде өте маңызды, мұнда ерте белгілер жеңіл дірілдерді немесе қолжазбаның өзгеруін және қолдың ептілігін қамтуы мүмкін.

2. Қозғалысты кешенді бақылау: гироскоп, акселерометр және магнитометр деректерін біріктіру 9 осьті толық бақылауды қамтамасыз етеді. Бұл жан-жақты бақылау күрделі қозғалыстарды талдауға мүмкіндік береді және Альцгеймер ауруы сияқты неврологиялық аурулардың дамуымен байланысты заңдылықтарды немесе ауытқуларды анықтауға көмектеседі.

3. Нақты уақыттағы өңдеу: борттық цифрлық қозғалыс процессоры қозғалыс деректерін нақты уақыт режимінде өңдеуге мүмкіндік береді. Бұл қозғалыс мінез-құлқындағы өзгерістерді дереу анықтауға және талдауға болатынын білдіреді, бұл ерте диагностиканы және аурудың дамуын үздіксіз бақылауды жеңілдетеді.

4. Төмен қуат тұтыну: Альцгеймер ауруымен ауыратын науқастар үздіксіз бақылауды қажет етеді, ал MPU-9250-нің төмен қуат тұтынуы оны жиі зарядтаусыз ұзақ уақыт бойы қозғалыстарды бақылай алатын киілетін құрылғылар үшін өте қолайлы етеді.

5. Қолдану икемділігі: сенсордың I2C немесе SPI байланысы арқылы әртүрлі микроконтроллерлермен және жүйелермен өзара әрекеттесу мүмкіндігі Оны әртүрлі диагностикалық құралдарға, соның ішінде Альцгеймер ауруын ерте анықтауға арналған роботты қаламға біріктіру үшін әмбебап етеді.

Материалдар мен әдістер

Қатысушылар

Қатысушылар «United Brain Center» ЖШС-ның пациенттері арасынан алынды, онда олар когнитивті құлдырауға күдікпен когнитивті бағалауға жіберілді. Бұл зерттеу екі топты қамтыды:

1. Альцгеймер тобы: Жиырма пациентке Альцгеймер ауруы диагнозы Монреаль Когнитивті Бағалау шкаласын (MoCA) пайдалана отырып, бейнелеу (МРТ және ПЭТ сканерлеу) және когнитивті бағалау әдістерінің комбинациясы негізінде қойылды. Бұл пациенттер тобының демографиялық көрсеткіштері орташа жасы 65 жасты, 58 жастан 82 жасқа дейінгі аралықты қамтыды. Орташа білім деңгейі 13,6 жылды құрады, бұл Альцгеймер ауруының типтік демографиялық сипаттамаларын репрезентативті түрде бейнелейді [12].

2. Бақылау тобы: Бақылау тобына жасы мен білім деңгейі бойынша Альцгеймер тобына мұқият сәйкес келетін он сегіз сау адам кірді. Бұл қатысушылардың қалыпты когнитивті функциялары MoCA баллдары арқылы расталды. Бақылау тобына жұмысқа қабылдау клиникалық сынақтарда жиі кездесетін біржақтылықты азайту үшін зерттеу тобының әріптестері, туыстары және достары арқылы жүргізілді.

Барлық қатысушылар ақпараттандырылған келісім берді, және зерттеу процедуралары тиісті институционалдық шолу комиссияларының мақұлдауына ие болды. Егжей-тегжейлі медициналық тарих медициналық персоналдың құрылымдық сұхбаттары арқылы жиналды, бұл әрбір қатысушының денсаулық жағдайы мен шығу тегін мұқият түсінуге мүмкіндік берді.

Эксперименттік Қондырғы

Эксперименттік қондырғы MPU-9250 сенсорымен жабдықталған дәлме-дәл құрастырылған Robo-rep құрылғысын пайдалануды қамтыды. Бұл сенсор біріктірілген 3 осьті гироскоп, 3 осьті акселерометр және 3 осьті магнитометр арқылы егжей-тегжейлі нейромоторлық қозғалыстарды түсіруге қабілетті. MPU-9250 әртүрлі қозғалысты анықтау қолданбаларындағы дәлелденген тәжірибесі, жоғары сезімталдығы және нақты уақыттағы деректерді өңдеу мүмкіндігі үшін таңдалды. Бұл сипаттамалар оны ерте Альцгеймер ауруына тән нәзік нейромоторлық ауытқуларды анықтау үшін өте қолайлы етеді.

Robo-rep қолжазба қозғалыстарының егжей-тегжейлі үш өлшемді координаттарын, жылдамдығын және үдеуін түсіру қабілеті қатысушылардың моторикасын жан-жақты талдауды қамтамасыз етеді. Бұл қондырғы Альцгеймер ауруы бар адамдар арасындағы қолжазба динамикасындағы нюанстық айырмашылықтарды анықтауға және Альцгеймер ауруын ерте анықтау үшін диагностикалық құрал Ретінде Robo-rep әлеуетін қолдай отырып, сау бақылауды қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.

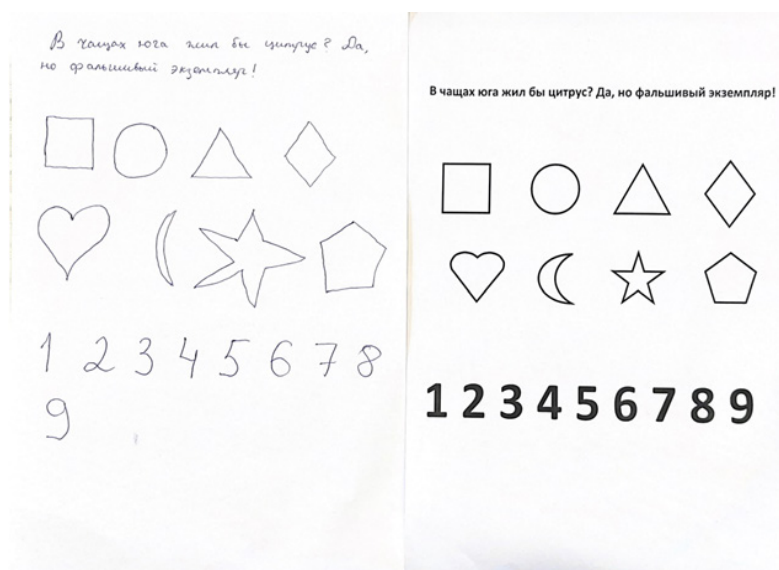
Тапсырмалар мен рәсімдер

Эксперимент Robo-rep көмегімен жүргізілді. Қатысушыларға моторикасын және танымдық қызметін бағалауға арналған үш тапсырманы орындау ұсынылды, олар төмендегі 4-суретте көрсетілген:

1. Сөйлемді қайта жазу: Қатысушыларға берілген сөйлемді мүмкіндігінше дәл және жылдам қайта жазу тапсырылды. Бұл тапсырма олардың қолжазба қабілеттерін және танымдық өңдеу жылдамдығын бағалауға бағытталған.

2. Фигураларды қайта сызу: қатысушыларға Алты түрлі фигура ұсынылды, содан кейін оларды қағаз бетіне қайта салуды сұрады. Бұл тапсырма олардың визуокеңістіктік қабілеттерін және қозғалтқышты басқаруды тексерді.

3. Сандарды қайта жазу: Қатысушылардан 1-ден 9-ға дейінгі сандарды ретімен қайта жазу талап етілді. Бұл тапсырма олардың сандық танымын және ұсақ моторикасын бағалауға бағытталған.



Сурет 4 – Қолжазба тапсырмалары

Нәтижелер мен талқылау

Деректерді Жинау

MPU-9250 датчиктерімен біріктірілген Robo-реп әртүрлі тапсырмаларды орындау кезінде қатысушылардың моторлық қозғалыстарының нюанстарын түсіру үшін пайдаланылды. MPU-9250 сенсорлары үш маңызды параметр бойынша жоғары ажыратымдылықтағы деректерді қамтамасыз етті: үш өлшемді координаттар, жылдамдық және үдеу. Бұл параметрлер кеңістіктік бақылауды, қозғалыс консистенциясын, жылдамдықтың өзгеруін және қозғалыс жылдамдығы мен күшін модуляциялау қабілетін бағалау үшін өте маңызды болды, олар көбінесе АА сияқты когнитивті бұзылуларда бұзылады. Деректерді жинау Әртүрлі құрылғылардан сериялық деректер ағындарын түсіруге арналған сенімді Құрал CoolTerm бағдарламалық құралын пайдалану арқылы жеңілдетілді. Robo-реп деректерді 115200 жылдамдықпен жіберуге конфигурацияланған, бұл деректерді жоғалтпай жылдам және сенімді тасымалдауды қамтамасыз етеді. Іріктеу жиілігі 18 Гц деңгейінде орнатылды, яғни сенсорлардың көрсеткіштері секундына 18 рет алынды. Бұл жиілік егжей-тегжейлі қозғалыс деректерінің қажеттілігін деректерді сақтау мен өңдеуге қатысты практикалық ойлармен теңестіру үшін таңдалды.

Сипаттамалық Статистика

Деректерді талдау кезінде біз әр параметр үшін негізгі статистиканы (орташа, стандартты ауытқу, минималды және максималды мәндер) есептедік. Бұрыштық жылдамдықты өлшейтін гироскоп деректері үшін АТ-ның БТ-мен (орташа Гироскоп $x = -5,24$) салыстырғанда орташа бұрыштық жылдамдығы (Орташа Гироскоп $x = 0,78$) төмен болды. Сонымен қатар, БТ тобы бұрыштық жылдамдықты өлшеуде үлкен өзгергіштікті көрсетті, бұл жоғары стандартты ауытқумен көрсетілген. Жеделдету деректері үшін АТ тобында БТ тобымен салыстырғанда барлық осьтер бойынша орташа үдеу мәндері төмен болды. Нақтырақ айтсақ, барлық үш осьті біріктіретін нәтижелік үдеу АТ тобында (орташа $= 0,98$) БТ тобымен (орташа $= 1,39$) салыстырғанда төмен болды.

Бұл айырмашылықтардың статистикалық тұрғыдан маңызды екендігін анықтау үшін біз әр параметр үшін т-тесттерін өткіздік. Т-тестілер екі топтың құралдарын салыстырып, олардың бір-бірінен статистикалық тұрғыдан ерекшеленетінін анықтайды. Нәтижелер барлық параметрлер бойынша айтарлықтай айырмашылықтарды ($p < 0,001$) көрсетті [13]. Гироскоп деректері үшін АТ және БТ топтары арасында Gyroscope_x, Gyroscope_y және Gyroscope_z-де айтарлықтай айырмашылықтар болды ($p < 0.001$). Сол сияқты, жеделдету деректері үшін Acceleration_x, Acceleration_y және Acceleration_z ($p < 0.001$) мәндерінде айтарлықтай айырмашылықтар болды. Нәтижелік үдеу (Resultant_g) топтар арасында айтарлықтай айырмашылықты ($p < 0.001$) көрсетті.

Кестелерді түсіндіру

Төмендегі кестелерде АТ және БТ топтары үшін сипаттамалық статистика жинақталған. АТ тобына арналған гироскоптың деректер кестесінде әрбір ось үшін 8092 деректер нүктесінің саны көрсетілген, орташа мәндер төменгі бұрыштық жылдамдықтарды көрсетеді. Стандартты ауытқу мәндері БТ-мен салыстырғанда АТ тобында аз өзгергіштікті көрсетеді. Алыцгеймер тобына арналған үдеу деректері барлық осьтердегі орташа мәндердің төмендеуін дәл осылай көрсетеді, нәтижесінде алынған үдеу жалпы қозғалыстың төмендеуін көрсетеді. Деректерді жинау кезіндегі температура көрсеткіштері БТ тобымен (орташа = 24,59°С) салыстырғанда АТ тобы үшін (орташа = 25,13°С) сәл жоғары болды.

Кесте 1– Алыцгеймер тобына сәйкес сипаттама статистикасы

	Gyroscope_x	Gyroscope_y	Gyroscope_z	Temperature	Acceleration_x	Acceleration_y	Acceleration_z	Resultant_g
Count	8092	8092	8092	8092	8092	8092	8092	8092
Mean	0.78	-1.42	-3.30	25.13	-0.007	0.012	0.953	0.978
Std Dev	14.82	32.09	14.76	1.60	0.154	0.114	0.253	0.227
Min	-133.96	-249.84	-122.53	20.72	-0.84	-1.04	-0.49	0.27
25%	-3.05	-4.08	-6.89	24.54	-0.09	-0.02	0.85	0.86
50%	1.36	4.16	-1.11	25.77	0.01	0.02	0.98	0.98
75%	6.17	11.00	3.28	25.90	0.08	0.05	1.05	1.06
Max	248.28	256.65	111.31	27.04	0.63	0.65	3.08	3.18

CN тобына арналған кестеде әр ось үшін 3024 деректер нүктелерінің саны көрсетілген, орташа мәндер бұрыштық жылдамдықтар мен үдеулердің жоғары өзгергіштігін көрсетеді. БТ үшін стандартты ауытқу мәндері жоғарырақ, бұл олардың өлшемдеріндегі үлкен өзгергіштікті көрсетеді. Алынған үдеу де жоғары, Бұл АТ-мен салыстырғанда жалпы қозғалыстың жоғарылауын көрсетеді.

Кесте 2 – Бақылау тобына сәйкес сипаттама статистикасы

	Gyroscope_x	Gyroscope_y	Gyroscope_z	Temperature	Acceleration_x	Acceleration_y	Acceleration_z	Resultant_g
Count	3024	3024	3024	3024	3024	3024	3024	3024
Mean	-5.24	34.78	-0.38	24.59	0.396	0.114	1.28	1.39
Std Dev	21.68	80.15	15.93	0.95	0.456	0.120	0.341	0.451
Min	-143.55	-136.54	-114.80	23.28	-0.40	-0.62	0.22	0.33
25%	-19.85	-19.98	-7.67	23.45	-0.02	0.02	1.01	1.03
50%	-7.31	2.32	-0.63	24.95	0.29	0.07	1.12	1.14
75%	6.29	122.16	6.13	25.60	0.92	0.25	1.67	1.94
Max	213.50	377.55	110.86	25.68	1.41	0.43	2.08	2.24

Негізгі Бақылаулар

Гироскоптың көрсеткіштерінен АТ-н БТ-мен салыстырғанда баяу айналмалы қозғалыстарды көрсететін орташа мәндердің төмен екені анық. Сонымен қатар, БТ гироскоптың көрсеткіштерінде үлкен өзгергіштікті көрсетті, максималды мәндері жоғары, бұл динамикалық және әртүрлі қозғалыстарды болжайды. Жеделдету көрсеткіштеріне келетін болсақ, АТ тобында барлық осьтер бойынша орташа мәндер төмен болды, бұл сызықтық қозғалыстардың азаюын және аз өзгергіштігін көрсетеді. Нәтижесінде АТ тобында жеделдету де төмен болды, бұл Альцгеймер ауруы бар науқастарда күтілетін моторды бақылау мәселелеріне сәйкес келеді. Сонымен қатар, температура көрсеткіштерінде шамалы айырмашылық байқалды, Альцгеймер тобында орташа температура сәл жоғары болды.

Осы кестелерді бөліп, әрбір құрамдас бөлікті түсіндіре отырып, Біз Альцгеймер ауруы мен Бақылау топтары арасындағы қолжазба динамикасындағы айырмашылықтарды жақсырақ түсіне аламыз[14]. Бұл егжей-тегжейлі талдау Альцгеймер ауруын ерте анықтаудың диагностикалық құралы ретінде Робопеннің әлеуетін растайды. Осы инновациялық тәсіл арқылы біз дер кезінде араласуға және ауруды жақсырақ басқаруға мүмкіндік беретін ерте диагностиканы жақсартуға тырысамыз.

Болашақ жұмыс

Зерттеулерімізді алға жылжыта отырып, Біз Robo-пен дизайны мен функционалдығына бірнеше жақсартулар енгізуді жоспарлап отырмыз. Негізгі жақсартулар сенсордың сезімталдығы мен дәлдігін арттыруға, табиғи жазу және сызу қозғалыстары үшін эргономикалық дизайнды жетілдіруге және қайта зарядтамай ұзақ пайдалану үшін батареяның қызмет ету мерзімін ұзартуға бағытталған. Сонымен қатар, сымсыз деректерді беру мүмкіндіктерін біріктіру нақты уақыт режимінде деректерді талдау мен бақылауды жеңілдетеді, клиникалық жағдайларда ыңғайлылықты жақсартады.

Robo-пен жасаған күрделі деректер жиынын жақсырақ түсіну үшін деректерді талдаудың озық әдістерін қолдануға көп көңіл бөлінеді. Біз қолжазба көрсеткіштерінің уақыт қатарлары деректеріндегі ұзақ мерзімді уақытша корреляцияларды зерттеу үшін төмендетілген тербеліс талдауын (DFA) енгізуді жоспарлап отырмыз [15]. DFA қолжазбадағы қартаюға байланысты қалыпты өзгерістер мен Альцгеймер ауруымен байланысты өзгерістерді ажыратуда әсіресе пайдалы болады [16]. Қолжазба динамикасындағы ауытқулардың масштабтау әрекетін талдай отырып, біз көрінетін когнитивті құлдыраудың алдындағы нәзік заңдылықтарды анықтауға тырысамыз, осылайша ерте диагностиканы жақсартамыз.

Robo-пен технологиясының Альцгеймер ауруынан басқа әлеуетті қолданбалары бар. Болашақ зерттеулер оның паркинсон ауруы және Хантингтон ауруы сияқты қозғалтқышты басқаруға әсер ететін басқа неврологиялық бұзылуларды диагностикалау мен бақылаудағы пайдалылығын зерттейді [17]. Құрылғыны осы бұзылулармен байланысты белгілі бір қозғалтқыш ауытқуларын анықтауға бейімдеу арқылы Robo-пен неврологияда әмбебап құрал ретінде қызмет ете алады.

Біз әртүрлі демографиялық және клиникалық топтардағы Robo-пен тиімділігін растау үшін зерттеулерімізді кеңірек және әртүрлі популяцияларды қамту үшін кеңейтуге ниеттіміз. Сонымен қатар, альцгеймер ауруы мен басқа да нейродегенеративті бұзылулардың өршуі туралы баға жетпес деректерді бере отырып, уақыт өте келе қолжазбаның өзгеруін бақылау үшін бойлық зерттеулер жоспарлануда [18]. Зерттеу жобаларын жетілдіру және құнды түсініктермен бөлісу, осы жұмыстың әсерін одан әрі кеңейту үшін басқа ғылыми-зерттеу институттарымен ынтымақтастыққа ұмтылатын болады.

Барлаудың тағы бір жолы Robo-пен мүмкіндіктерін басқа диагностикалық құралдармен және платформалармен біріктіру болады [19]. Мысалы, қолжазбаны талдау деректерін нейробейнелеу нәтижелерімен және когнитивті тест нәтижелерімен біріктіру пациенттің неврологиялық жағдайы туралы жан-жақты түсінік бере алады [20]. Бұл мультимодальды тәсіл Альцгеймер ауруын анықтау мен түсінудің сенімді негіздерін қамтамасыз ете отырып, әрбір диагностикалық құралдың күшті жақтарын пайдалануға мүмкіндік береді.

Қорытынды

Бұл зерттеу MPU-9250 сенсорымен біріктірілген Robo-пен-ді инновациялық қолдану арқылы Альцгеймер ауруын ерте анықтаудағы айтарлықтай жетістіктерді көрсетеді. Қолжазбаның егжей-тегжейлі динамикасын түсіре отырып, біз когнитивті құлдыраудың алғашқы көрсеткіштері ретінде нәзік нейромоторлық өзгерістерді қолданатын жаңа инвазивті емес диагностикалық құралды ұсындық. Біздің нәтижелеріміз қысым, жылдамдық және ритақ сияқты қолжазба ерекшеліктеріндегі өзгерістер Альцгеймер ауруының ерте белгілері болуы мүмкін екенін көрсетеді, бұл қазіргі диагностикалық әдістемелердегі маңызды олқылықтың орнын толтыруы мүмкін.

Robo-пен дәстүрлі диагностикалық тәсілдерге қарағанда бірнеше артықшылықтар ұсынады. Ол үнемді және пайдалану оңай ғана емес, сонымен қатар байқалатын когнитивті белгілердің алдындағы ерте нейродегенеративті өзгерістерге өте сезімтал. Бұл оны клиникалар үшін де, зерттеушілер үшін де баға жетпес құралға айналдырады, аурудың ерте ағымына араласуға, оның даму траекториясын өзгертуге және пациенттердің нәтижелерін жақсартуға мүмкіндік береді.

Алға қарай, Robo-пен дизайны мен функционалдығын жоспарланған жақсартулар, сондай-ақ ауытқуларды төмендетілген талдау сияқты деректерді талдаудың күрделі әдістерін енгізу оның диагностикалық дәлдігін одан әрі арттыратынын атап өтеміз. Оны басқа неврологиялық бұзылуларға қолданудың әлеуетті кеңеюі бұл технологияның аясын кеңейтіп, оны неврологиялық құралдар жинағындағы әмбебап құралға айналдырады.

Жетілдірілген сенсорлық технологиялар мен инновациялық деректерді талдаудың интеграциясы нейродегенеративті ауруларға деген көзқарасымыздағы парадигманың өзгеруін білдіреді. Біз бұл технологияны жетілдіруді және оның қолданылуын кеңейтуді жалғастыра отырып, Robo-пен Альцгеймер ауруынан зардап шеккендердің өмір сүру сапасын жақсартып қана қоймайды, сонымен қатар бүкіл әлем бойынша қамқоршылар мен денсаулық сақтау жүйелеріне жүктемені азайтады. Бұл зерттеу Альцгеймер ауруымен күресте алға жасалған маңызды қадамды білдіреді және технологияға негізделген денсаулық сақтау шешімдері бойынша болашақ зерттеулерге жол ашады.

ӘДЕБИЕТТЕР

- 1 Kourtis L.C., Regele O.B., Wright J.M., Jones G.B. Digital biomarkers for Alzheimer's disease: the mobile/wearable devices opportunity. NPJ Digit Med., 2019. <https://doi.org/10.1038/s41746-019-0084-2>.
- 2 Jack C.R., Bennett D.A., Blennow K. NIA-AA Research Framework: Toward a biological definition of Alzheimer's disease. *Alzheimer's & Dementia*, 2018, vol. 14, no. 4, pp. 535–562.
- 3 Albert M.S., DeKosky S.T. Dickson D. The diagnosis of mild cognitive impairment due to Alzheimer's disease: Recommendations from the National Institute on Aging-Alzheimer's Association workgroups on diagnostic guidelines for Alzheimer's disease. *Alzheimer's & Dementia*, 2011, vol. 7, no. 3, pp. 270–279.
- 4 Smith R.G., Pishva E., Shireby G. A meta-analysis of epigenome-wide association studies in Alzheimer's disease highlights novel differentially methylated loci across cortex. *Biorxiv*, 2019. <https://www.biorxiv.org/content/10.1101/2020.02.28.957894v1>.
- 5 Johnson K., Lee H. Kinematic features of handwriting in early Alzheimer's disease. *Journal of Neurology and Neurophysiology*, 2021.
- 6 Sperling R.A., Aisen P.S., Beckett L.A. Toward defining the preclinical stages of Alzheimer's disease: Recommendations from the National Institute on Aging-Alzheimer's Association workgroups on diagnostic guidelines for Alzheimer's disease. *Alzheimer's & Dementia*, 2011, vol. 7, no. 3, pp. 280–292.
- 7 Davis S., Karim R. Handwriting pressure and velocity in Alzheimer's disease. *Journal of Neuropsychology*, 2020.
- 8 Thompson A. Inconsistent predictors of Alzheimer's in handwriting analysis. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 2022.
- 9 Green P. Machine learning applications in handwriting analysis for Alzheimer's detection. *Journal of Machine Learning in Medicine*, 2018.
- 10 Alzheimer's Research & Therapy. Brief cognitive screening instruments for early detection of Alzheimer's disease: a systematic review. *Alzheimer's Research & Therapy*, 2020. <https://alzres.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13195-020-00703-x>.

- 11 Cordell C.B., Borson S., Boustani M., Chodosh J., Reuben D., Verghese J., Thies W., Fried L.B. Alzheimer's Association recommendations for operationalizing the detection of cognitive impairment during the Medicare Annual Wellness Visit in a primary care setting. *Alzheimer's & Dementia*, 2013, vol. 9, no. 2, pp. 141–150. <https://doi.org/10.1016/j.jalz.2012.09.011>.
- 12 De Gregorio G., Desiato D., Marcelli A., Polese G. A Multi Classifier Approach for Supporting Alzheimer's Diagnosis Based on Handwriting Analysis. *ICPR International Workshops and Challenges. ICPR 2021*, 2021. https://doi.org/10.1007/978-3-030-68763-2_43.
- 13 Cilia N.D., De Gregorio G., De Stefano C., Fontanella F., Marcelli A., Parziale A. Diagnosing Alzheimer's disease from on-line handwriting: A novel dataset and performance benchmarking. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2021.
- 14 Yu N-Y., Chang S-H. Characterization of the fine motor problems in patients with cognitive dysfunction – A computerized handwriting analysis. *Human Movement Science*, 2019, vol. 65, pp. 71–79. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2018.06.006>.
- 15 Alemayoh T.T., Shintani M., Lee J.H., Okamoto S. Deep-Learning-Based Character Recognition from Handwriting Motion Data Captured Using IMU and Force Sensors. *Sensors*, 2022, vol. 22, p. 7840. <https://doi.org/10.3390/s22207840>.
- 16 Cilia N.D., De Gregorio G., De Stefano C., Fontanella F., Marcelli A., Parziale A. Diagnosing Alzheimer's disease from on-line handwriting: a novel dataset and performance benchmarking. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2022, vol. 111, p. 104822.
- 17 Frisoni G.B., Fox N.C., Jack C.R. The clinical use of structural MRI in Alzheimer disease. *Nature Reviews Neurology*, 2010, vol. 6, no. 2, pp. 67–77.
- 18 Petersen R.C., Smith G.E., Waring S.C. Mild cognitive impairment: Clinical characterization and outcome. *Archives of Neurology*, 1999, vol. 56, no. 3, pp. 303–308.
- 19 McKhann G.M., Knopman D.S., Chertkow H. The diagnosis of dementia due to Alzheimer's disease: Recommendations from the National Institute on Aging-Alzheimer's Association workgroups on diagnostic guidelines for Alzheimer's disease. *Alzheimer's & Dementia*, 2011, vol. 7, no. 3, pp. 263–269.
- 20 Bondi M.W., Edmonds E.C., Salmon D.P. A comprehensive neuropsychological approach to the study of preclinical Alzheimer's disease. *Neuropsychology Review*, 2014, vol. 24, no. 4, pp. 301–315.

^{1*}Bazarbekov I.M.,

PhD student, Senior Lecturer, ORCID ID: 0009-0001-1917-169X,
e-mail: ikram.bazarbekov@gmail.com

¹Ipalakova M.T.,

Cand. Tech. Sc., Associate Professor, ORCID ID: 0000-0002-8700-1852,
e-mail: m.ipalakova@iitu.edu.kz

¹Daineko E.A.,

PhD, Associate Professor, ORCID ID: 0000-0001-6581-2622,
e-mail: y.daineko@iitu.edu.kz

¹Mukhanov S.B.,

PhD, Assistant professor, e-mail: s.mukhanov@iitu.edu.kz

¹International Information Technology University, 050040, Almaty, Kazakhstan

DEVELOPMENT AND DATA ANALYSIS OF A ROBO-PEN FOR ALZHEIMER'S DISEASE DIAGNOSIS: PRELIMINARY RESULTS

Abstract

Alzheimer's Disease (AD) poses a significant challenge in contemporary medicine, necessitating early and accurate diagnostic methods to manage its progression effectively. This study explores the development and application of the Robo-pen, an innovative diagnostic tool designed to detect early signs of cognitive decline through detailed handwriting analysis. The Robo-pen, equipped with an MPU-9250 sensor, captures three-dimensional coordinates, velocity, and acceleration of handwriting movements, crucial for assessing spatial control, movement consistency, speed variations, and the ability to modulate movement speed and force—parameters often disrupted in cognitive impairments like AD. Participants included 20 patients diagnosed with AD and 18 healthy controls, matched in age and educational levels. Data collection involved tasks such as sentence rewriting, figure redrawing, and digit rewriting, processed using CoolTerm software at a sampling rate of 18 Hz. Descriptive statistics revealed

that the AD group exhibited lower mean values for gyroscope and acceleration data, indicating slower and less variable movements compared to the control group. T-tests confirmed significant differences ($p < 0.001$) across all measured parameters between the AD and control groups. The results support the potential of the Robo-pen as a non-invasive, cost-effective diagnostic tool for early detection of AD. By capturing subtle neuromotor changes, the Robo-pen facilitates earlier diagnosis and timely intervention, potentially altering the disease trajectory and improving patient outcomes. This study marks a significant advancement in the early detection of AD, highlighting the Robo-pen's promise as a transformative tool in neurodegenerative disease diagnosis and management.

Key words: Alzheimer's disease, mild cognitive impairment, Robo-pen, handwriting, data analysis.

¹*Базарбеков И.М.,

докторант, сениор-лектор, ORCID ID: 0009-0001-1917-169X,
e-mail: ikram.bazarbekov@gmail.com

¹Ипалакова М.Т.,

к.т.н., ассоциированный профессор, ORCID ID: 0000-0002-8700-1852,
e-mail: m.ipalakova@iitu.edu.kz

¹Дайнеко Е.А.,

PhD, ассоциированный профессор, ORCID ID: 0000-0001-6581-2622,
e-mail: y.daineko@iitu.edu.kz

¹Муханов С.М.,

PhD, ассистент-профессор, ORCID ID: 0000-0001-8761-4272,
e-mail: s.mukhanov@iitu.edu.kz

¹Международный университет информационных технологий,
050040, г. Алматы, Казахстан

РАЗРАБОТКА И АНАЛИЗ ДАННЫХ РОБО-ПЕН ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ БОЛЕЗНИ АЛЬЦГЕЙМЕРА: ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Аннотация

Болезнь Альцгеймера (БА) представляет собой значительную проблему современной медицины, требующую ранних и точных методов диагностики для эффективного управления ее прогрессированием. В данном исследовании рассматривается разработка и применение Robo-pen, инновационного диагностического инструмента, предназначенного для обнаружения ранних признаков когнитивного снижения с помощью детального анализа почерка. Robo-pen, оснащенный датчиком MPU-9250, фиксирует трехмерные координаты, скорость и ускорение движений письма, что важно для оценки пространственного контроля, постоянства движений, вариаций скорости и способности модулировать скорость и силу движения – параметров, часто нарушенных при когнитивных расстройствах, таких как БА. В исследовании приняли участие 20 пациентов с диагнозом БА и 18 здоровых контрольных участников, сопоставленных по возрасту и уровню образования. Сбор данных включал задания, такие как переписывание предложений, перерисовка фигур и переписывание цифр, с обработкой данных с помощью программного обеспечения CoolTerm с частотой дискретизации 18 Гц. Описательная статистика показала, что группа с БА продемонстрировала более низкие средние значения для данных гироскопа и акселерометра, что указывает на более медленные и менее изменчивые движения по сравнению с контрольной группой. Т-тесты подтвердили значительные различия ($p < 0.001$) по всем измеряемым параметрам между группами БА и контроля. Результаты подтверждают потенциал Robo-pen как неинвазивного и экономически эффективного диагностического инструмента для раннего выявления БА. Путем фиксирования тонких нейромоторных изменений Robo-pen способствует более ранней диагностике и своевременному вмешательству, что может изменить течение болезни и улучшить результаты для пациентов. Это исследование представляет собой значительный шаг вперед в раннем выявлении БА, подчеркивая перспективы Robo-pen как преобразующего инструмента в диагностике и управлении нейродегенеративными заболеваниями.

Ключевые слова: болезнь Альцгеймера, легкие когнитивные нарушения, Robo-pen, почерк, анализ данных.

Мақаланың редакцияға түскен күні: 12.07.2024.