ISNN 3030-3907

2026
MAY
ISSUE - 5
VOLUME -11

DEVELOPMENT OF SCIENCE

scientific journal



Development of science

Ilmiy jurnal

MAY 2026
Issue - 5, VOLUME – 11

ISSN 3030 -3907

Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro‘yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR:
Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.
TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:
Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor
TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Bozorov G‘ayrat Rashidovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Abdurahmonov Olim Rustamovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Adizov Bobur Zamirovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor
Hayitov Ruslan Rustamjonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Jumayev Qayum Karimovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Berdiyev Dorob Murodovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor
Maxmudov Rafiq Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Tilloyev Lochin Ismatilloyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Raxmonov Qahramon Sanakulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Barakayev Nusratullo Rajabovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.
Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Panoyev Erali Rajabboyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Ataullayev Sherzod Nabiullyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Malik Negmurodovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Axmedova Ozoda Bahronovna
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.
Safarov Bahri Jumayevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Xaydarov Axtam Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Safarov Jasur Alijon o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Axmedov Voxid Nizomovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Umarov Baqo Bafoyevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Kodirov Abduaxad Abduraximovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Qurbonov Mingniqul Jumagulovich
Qarshi davlat Universiteti, dotsent
Turemuratov Sharibay Naurizbaevich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor
Tursunov Kaxor Shonazarovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Do‘stov Hamro
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Panoyev Nodir Shavkatovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Kasimov Sherzod Abduazimovich
Termiz Davlat Universiteti, professor.
Aliqulov Rustam Valiyevich
Termiz Davlat Universiteti, professor
Tropov Xamza Tursunovich
Samarqand Davlat Universiteti, professor

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Nizamov Aslitdin Badreddinovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Boboyev Akmal Choriyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Saidaxmedova Nodira Ilxomovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Muxsinov Bekzod Toxirovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shakarov Qulmat Ashirovich
Renessans ta'lim universiteti,dotsent.
Jumaeva Zulfiya Qayumovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Norova Salomat Yusupovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Jalilov Jamshid G‘anijonovich
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent
Xasanova Gulruh Djumanazarovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Siddiqova Sadoqat G‘afforovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Zoyirov Erkin Xalilovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor
Gaffarov Feruz Hasanovich
Puchon Universiteti, *professor*
Ruziyev Davron Yuldashevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Muradova Firuza Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Yunusova Gulandon Samiyevna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
To‘xtayeva Zebo Sharifovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Uzoqova Laylo Polvonovna
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.
To‘raqulova Marjona Qiyom qizi
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Muradova Zarina Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Sanjar Aslonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent
Gaffarov Laziz Hasanovich
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.

ISSN 3030-3907

Development of science ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.

ISSN 3030-3907

TIBBIY REABILITATSIYADA IMU ASOSIDAGI HARAKAT SENSORLARI QO‘LLANILISH SOHALARI, ANIQLIK VA MULTIMODAL INTEGRATSIYA

Yusupova Farog‘at Yakubboy qizi
“Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti” davlat muassasasi tayanch doktoranti
ORCID: https://orcid.org/0009-0007-0675-3264
Email: f.yusupova@tsue.uz

Annotatsiya. Zamonaviy tibbiy reabilitatsiyada bemor harakatini ob’ektiv va uzluksiz baholash muhim ahamiyatga ega. Shu sababli Inertial Measurement Unit (IMU) asosidagi wearable sensorlardan foydalanishga qiziqish ortib bormoqda. Ushbu maqolada IMU sensorlarining tibbiy reabilitatsiyadagi qo‘llanilish sohalari, jumladan yurish tahlili, postura va muvozanat monitoringi hamda nevrologik va ortopedik reabilitatsiyadagi ahamiyati o‘rganilib chiqildi. Shuningdek, IMU sensorlarini EMG, kuch va fiziologik sensorlar bilan integratsiyalashga asoslangan multimodal monitoring yondashuvlari, sensor fusion usullari hamda IoT asosidagi tele-reabilitatsiya tizimlari ko‘rib chiqildi. Maqolada harakat ko‘rsatkichlarini miqdoriy baholash uchun asosiy matematik ifodalar ham keltirilib, ularning klinik qarorlarni qo‘llab-quvvatlashdagi o‘rni yoritilib berilgan.

Kalit so‘zlar: reabilitatsiya, IMU sensorlari, harakatni baholash, wearable texnologiyalar, multimodal monitoring, IoT, tele-reabilitatsiya.

Аннотация. Объективная и непрерывная оценка движений пациента играет важную роль в современной медицинской реабилитации. В связи с этим возрастает интерес к использованию wearable-сенсоров на основе Inertial Measurement Unit (IMU). В данной статье рассматриваются области применения IMU-сенсоров в медицинской реабилитации, включая анализ походки, мониторинг осанки и равновесия, а также их значение в неврологической и ортопедической реабилитации. Кроме того, рассмотрены подходы мультимодального мониторинга, основанные на интеграции IMU-сенсоров с EMG, силовыми и физиологическими сенсорами, методы sensor fusion, а также системы телереабилитации на основе IoT. В статье также представлены основные математические выражения, используемые для количественной оценки параметров движения, и показана их роль в поддержке клинического принятия решений.

Ключевые слова: реабилитация, IMU-сенсоры, оценка движений, wearable-технологии, мультимодальный мониторинг, IoT, телереабилитация.

Abstract. Objective and continuous assessment of patient movement plays an important role in modern medical rehabilitation. Therefore, interest in the use of wearable sensors based on Inertial Measurement Units (IMUs) is steadily increasing. This article examines the application areas of IMU sensors in medical rehabilitation, including gait analysis, posture and balance monitoring, as well as their significance in neurological and orthopedic rehabilitation. In addition, multimodal monitoring approaches based on the integration of IMU sensors with EMG, force, and physiological sensors, sensor fusion methods, and IoT-based telerehabilitation systems are discussed. The article also presents the main mathematical expressions used for the quantitative evaluation of movement parameters and highlights their role in supporting clinical decision-making.

Keywords: rehabilitation, IMU sensors, motion assessment, wearable technologies, multimodal monitoring, IoT, telerehabilitation.

KIRISH.

Reabilitatsiya jarayoni jarohatlar, nevrologik kasalliklar va muskuloskelet tizimi buzilishlaridan so‘ng bemorning funksional imkoniyatlarini tiklashga qaratilgan kompleks tibbiy jarayon hisoblanadi. Harakatni baholash ushbu jarayonning markaziy elementi bo‘lib, yurish, muvozanat va koordinatsiya bemorning funksional holatini aniqlovchi asosiy ko‘rsatkichlar hisoblanadi.

An’anaviy klinik baholash usullari ko‘pincha sub’ektiv bo‘lib, bemorning kundalik hayotdagi harakat faolligini to‘liq aks ettira olmaydi. Shu sababli zamonaviy tibbiyotda harakatni ob’ektiv va miqdoriy baholash imkonini beruvchi sensor texnologiyalariga qiziqish ortib bormoqda [1,2].

TADQIQOT METODOLOGIYASI.

Mazkur tadqiqotda IMU asosidagi harakat sensorlarining tibbiy reabilitatsiyadagi qo‘llanilishi bo‘yicha ilmiy adabiyotlar tahlil qilindi. Tadqiqot davomida gait analysis, multimodal monitoring, sensor fusion va IoT asosidagi tele-reabilitatsiya tizimlariga oid maqolalar o‘rganildi. Shuningdek, IMU sensorlari yordamida olinadigan asosiy biomekanik ko‘rsatkichlar hamda ularning klinik ahamiyati taqqoslovchi tahlil asosida baholandi.

ADABIYOTLAR TAHLILI.

Hozirgi vaqtda tibbiy reabilitatsiyada IMU asosidagi wearable sensorlardan foydalanishga oid tadqiqotlar keng rivojlanmoqda. Tadqiqotlar IMU sensorlari yurish tahlili, postura va muvozanat monitoringi hamda nevrologik va ortopedik reabilitatsiyada harakatni ob’ektiv baholash imkonini berishini ko‘rsatadi [1–5]. Shuningdek, IMU sensorlarini EMG va kuch sensorlari bilan integratsiyalash multimodal monitoring samaradorligini oshirishi aniqlangan [6–9]. Sensor fusion algoritmlari esa signal drift va shovqinlarni kamaytirib, harakat parametrlarini yanada aniq baholashga xizmat qiladi [12–14]. So‘nggi tadqiqotlarda wearable

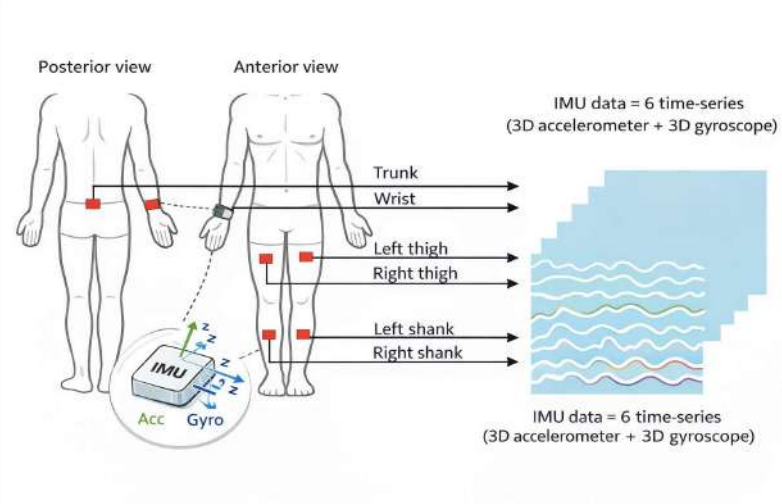
ISSN 3030-3907

sensorlarni IoT platformalar bilan integratsiyalash orqali tele-reabilitatsiya va masofaviy monitoring tizimlarini rivojlantirishga alohida e’tibor qaratilmoqda [25–27].

IMU asosidagi harakat sensorlari

Inertial Measurement Unit (IMU) sensorlari odatda akselerometr va giroskopdan, ayrim hollarda magnetometrdan tashkil topib, tana segmentlarining uch o‘lchamli fazodagi harakatlarini qayd etish imkonini beradi. Ushbu sensorlar yordamida tezlanish, burchak tezligi va orientatsiya kabi kinematik parametrlar aniqlanadi [3,4].

IMU sensorlarining asosiy afzalligi ularning portativligi va laboratoriya sharoitiga bog‘liq bo‘lmagan holda real muhitda foydalanish imkoniyatidir. Shu sababli ular yurish tahlili, postura monitoringi va muvozanatni baholashda keng qo‘llanilmoqda [5].



1-rasm. Inson tanasining turli segmentlariga (trunk, son, boldir, bilak) joylashtirilgan IMU sensorlari yordamida harakat ma’lumotlarini yig‘ish va uch o‘lchamli kinematik parametrlarni aniqlash sxemasi.

Wearable sensorlarning turlari va IMU bilan integratsiyasi

Zamonaviy tibbiy reabilitatsiyada bemor harakatini to‘liq va ob’ektiv baholash uchun bitta turdagi sensorlardan foydalanish ko‘pincha yetarli bo‘lmaydi. Shu sababli so‘nggi yillarda IMU sensorlarini boshqa wearable texnologiyalar bilan integratsiyalashga asoslangan multimodal yondashuvlar keng tarqalmoqda. Bunday yondashuvlar harakatning kinematik xususiyatlari bilan bir qatorda mushak faoliyati va tashqi mexanik yuklanishlar haqida ham qo‘shimcha ma’lumot olish imkonini beradi [6,7].

IMU sensorlari (akselerometr va giroskop) asosan tana segmentlarining tezlanishi, burchak tezligi va orientatsiyasini qayd etib, yurish, postura va bo‘g‘im harakatlarini kinematik jihatdan baholashga xizmat qiladi. Biroq, mushaklarning faollik darajasi yoki tayanch sirt bilan o‘zaro ta’sir kabi jihatlar IMU signallaridan

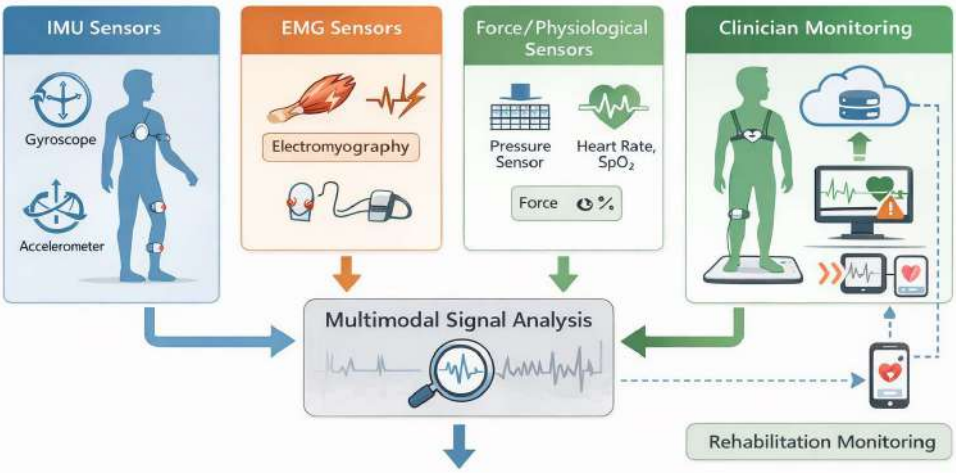
ISSN 3030-3907

to‘liq aniqlanmaydi. Shu sababli IMU sensorlari ko‘pincha elektromiografiya (EMG), bosim yoki kuch sensorlari hamda ayrim fiziologik sensorlar bilan birgalikda qo‘llaniladi [8].

EMG sensorlari mushaklarning bioelektrik faolligini qayd etib, reabilitatsiya jarayonida mushaklarning qanchalik faol ishtirok etayotganini va kompensator mexanizmlarning mavjudligini aniqlash imkonini beradi. IMU va EMG sensorlarining integratsiyasi harakat amplitudasi va mushak faolligi o‘rtasidagi bog‘liqlikni tahlil qilishga yordam beradi, bu esa ayniqsa insultdan keyingi va ortopedik reabilitatsiyada muhim ahamiyatga ega [9].

Bosim va kuch sensorlari esa tayanch sirt bilan bo‘lgan kontakt kuchlarini baholash orqali yuklanish simmetriyasi va barqarorlikni aniqlashda qo‘llaniladi. Masalan, yurish jarayonida oyoqlarga tushayotgan yuklanish taqsimotini IMU asosida o‘lchangan harakat parametrlari bilan birgalikda tahlil qilish reabilitatsiya mashqlarining samaradorligini baholash imkonini beradi [10].

Fiziologik sensorlar (yurak urish tezligi, nafas olish chastotasi va boshqa biometrik ko‘rsatkichlar) IMU bilan integratsiyalanganda, bemorning jismoniy yuklamaga bo‘lgan umumiy fiziologik javobi baholanadi. Bu holat mashg‘ulot intensivligini individual moslashtirish va bemor xavfsizligini ta’minlashda muhim rol o‘ynaydi [11].



2-rasm. IMU, EMG va kuch sensorlaridan olingan ma’lumotlarga asoslangan reabilitatsiya monitoringining konseptual modeli.

Sensor fusion va signal barqarorligini ta’minlash.

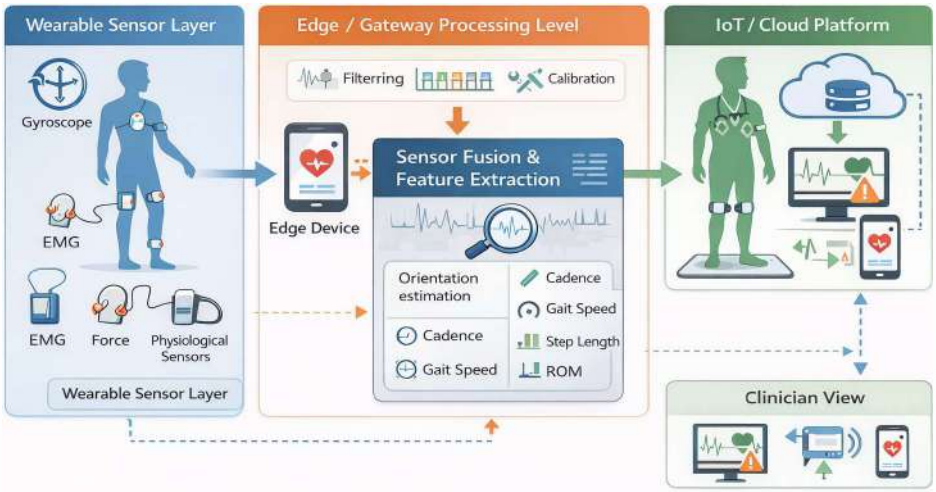
IMU va boshqa wearable sensorlardan olinadigan xom signallar shovqin, drift va joylashtirishga sezgirlik kabi omillarga ta’sirchan bo‘lib, bu holatlar harakat ko‘rsatkichlarining aniqligini pasaytirishi mumkin. Shu sababli zamonaviy reabilitatsiya monitoring tizimlarida turli sensorlardan kelayotgan ma’lumotlarni birlashtirish va barqaror baholashni ta’minlash uchun sensor fusion yondashuvlari qo‘llaniladi [12].

ISSN 3030-3907

Sensor fusion IMU sensorlaridan olingan tezlanish va burchak tezligi ma’lumotlarini birgalikda qayta ishlash orqali tana orientatsiyasi va harakat parametrlarining yanada ishonchli bahosini olishga imkon beradi. Ushbu jarayonda shovqinni kamaytirish, signalni silliqlash va uzoq muddatli kuzatuvlarda yuzaga keladigan drift ta’sirini cheklash asosiy vazifalar hisoblanadi. Natijada yurish tezligi, qadam chastotasi va bo‘g‘imlar harakat amplitudasi kabi ko‘rsatkichlar barqarorroq aniqlanadi [13,14].

Multimodal yondashuvlarda sensor fusion faqat IMU ichidagi signallar bilan cheklanmay, IMU ma’lumotlarini EMG yoki kuch sensorlaridan olingan signallar bilan moslashtirishni ham o‘z ichiga oladi. Bunday integratsiya harakatning kinematik va mexanik jihatlarini bir vaqtda tahlil qilish imkonini beradi. Masalan, IMU asosida aniqlangan harakat amplitudasi EMG signallari bilan birgalikda baholanganda, mushaklarning faol yoki kompensator tarzda ishlayotganini aniqlash mumkin bo‘ladi [15].

Amaliy tizimlarda sensor fusion jarayonining bir qismi edge qurilma darajasida amalga oshirilishi mumkin. Bu yondashuv ma’lumotlarni uzatish hajmini kamaytiradi, real vaqt rejimida monitoringni ta’minlaydi va energiya samaradorligini oshiradi. Barqarorlashtirilgan va qisqacha qayta ishlangan ma’lumotlar keyinchalik IoT platforma orqali saqlash va uzoq muddatli tahlil uchun uzatiladi [16].



3-rasm. IMU va qo‘shimcha wearable sensorlar uchun edge–IoT asosidagi tele-reabilitatsiya tizimining konseptual arxitekturasi.

IMU asosida harakat ko‘rsatkichlarini miqdoriy baholash formulalari

IMU sensorlari yordamida olingan tezlanish va burchak tezligi signallari asosida reabilitatsiyada qo‘llaniladigan asosiy harakat ko‘rsatkichlari miqdoriy tarzda baholanadi. Ushbu ko‘rsatkichlar yurish (gait) tahlili, postura va muvozanat monitoringida keng qo‘llaniladi hamda klinik baholashlarni to‘ldiruvchi ob’ektiv indikatorlar sifatida qaraladi.

ISSN 3030-3907

Yurish jarayonida qadam chastotasi (cadence) kuzatilgan qadamlar soni va vaqt oralig‘i asosida quyidagicha aniqlanadi:

$$Cadence(qadam/\min) = \frac{N}{T} \times 60$$

bu yerda N — aniqlangan qadamlar soni, T — kuzatuv davomiyligi (soniya). Yurish tezligi bosib **o‘**tilgan masofa va vaqt nisbatiga asoslanib baholanadi:

$$v = \frac{D}{T}$$

bu yerda v — yurish tezligi (m/s), D — bosib o‘tilgan masofa (m).

Agar yurish tezligi va bitta qadamning o‘rtacha davomiyligi ma’lum bo‘lsa, qadam uzunligi soddalashtirilgan holda quyidagicha ifodalanadi:

$$L_{step} \approx v \times t_{step}$$

bu yerda t_{step} — bitta qadamning o‘rtacha davomiyligi (s).

Chap va o‘ng tana segmentlari orasidagi harakat simmetriyasini baholash uchun simmetriya indeksi (SI) ishlatiladi. Ushbu indeks reabilitatsiyada kompensator harakatlarni aniqlashda muhim ahamiyatga ega:

$$SI(\%) = \frac{[X_L - X_R]}{\frac{1}{2}[X_L + X_R]} \times 100$$

bu yerda X_L va X_R — mos ravishda chap va o‘ng tomonga tegishli biomekanik ko‘rsatkichlar (masalan, qadam vaqti yoki qadam uzunligi).

Bo‘g‘imlarning harakat amplitudasi (Range of Motion, ROM) IMU sensorlari orqali aniqlangan burchak qiymatlarining maksimal va minimal farqi sifatida aniqlanadi:

$$ROM = \theta_{max} - \theta_{min}$$

bu yerda θ_{max} va θ_{min} — mos ravishda maksimal va minimal burchak qiymatlari.

Postura va muvozanat monitoringida tana og‘ishi yoki postural tebranishni baholash uchun burchak signallarining tarqalish darajasi qo‘llaniladi. Bunda eng ko‘p ishlatiladigan ko‘rsatkichlardan biri standart og‘ish hisoblanadi:

$$\sigma_\theta = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(\theta_i - \bar{\theta})^2}$$

bu yerda θ_i — vaqt bo‘yicha o‘lchangan burchak qiymatlari, $\bar{\theta}$ — ularning o‘rtacha qiymati, n — namunalar soni.

Ushbu matematik ifodalar IMU asosidagi monitoring tizimlarida harakatni miqdoriy baholash uchun asosiy ilmiy apparat sifatida qaraladi va reabilitatsiya jarayonida klinik qarorlarni qo‘llab-quvvatlovchi ob’ektiv indikatorlarni shakllantirishga xizmat qiladi[17-21].

ISSN 3030-3907

Reabilitatsiyada IMU sensorlarining qo‘llanilish sohalari

IMU asosidagi monitoring tizimlari reabilitatsiyaning turli yo‘nalishlarida samarali qo‘llaniladi. Yurish tahlilida qadam uzunligi, yurish tezligi, cadence va harakat simmetriyasi kabi ko‘rsatkichlar aniqlanadi [22,23].

Nevrologik reabilitatsiyada, xususan insult va Parkinson kasalligidan keyingi holatlarda, IMU sensorlari harakat amplitudasi, tremor va bradikineziya kabi simptomlarni baholashda muhim ahamiyat kasb etadi [24]. Ortopedik reabilitatsiyada esa bo‘g‘imlarning harakat amplitudasi va yuklanish simmetriyasi monitoring qilinadi.

1-jadval

Imu sensorlari yordamida tibbiy reabilitatsiyaning turli yo‘nalishlarida baholanadigan harakat turlari, qo‘llaniladigan sensor konfiguratsiyalari hamda asosiy biomekanik ko‘rsatkichlarning aniqlik va ishonchlilik darajalari

N	Reabilitatsiya yo‘nalishi	Baholanadigan harakatlar	Qo‘llanilgan sensorlar	Asosiy ko‘rsatkichlar	Aniqlik / ishonchlilik
1	**Yurish (Gait) reabilitatsiyasi**	Qadam, yurish sikli	IMU (son + boldir)	Qadam uzunligi, tezlik, cadence, simmetriya	**Yuqori (ICC > 0.85)**
2	**Insultdan keyingi reabilitatsiya**	Pastki tana harakati	IMU (trunk + oyoqlar)	Harakat amplitudasi, barqarorlik	**Yuqori (error < 5–7%)**
3	**Parkinson kasalligi reabilitatsiyasi**	Tremor, bradikineziya	IMU (bilak + trunk)	Harakat tezligi, tebranish	**Yuqori (sensitivity > 85%)**
4	**Muvozanat va postura reabilitatsiyasi**	Tana og‘ishi, sway	IMU (trunk)	Postural sway, barqarorlik	**Yuqori–o‘rta**
5	**Tizza va son bo‘g‘imi reabilitatsiyasi**	Bo‘g‘im harakati	IMU (bo‘g‘im atrofida)	ROM, fleksion/ekstensiyon	**Yuqori (RMSE < 5°)**

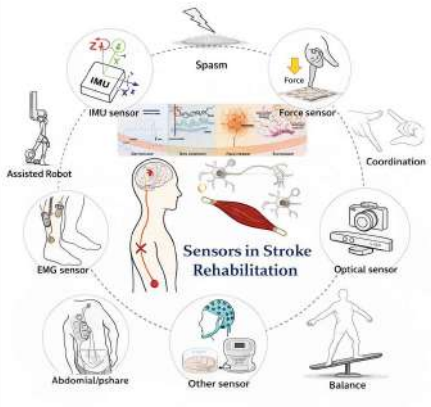
ISSN 3030-3907

6	**Yuqori tana a’zolari reabilitatsiyasi**	Qo‘l harakati	IMU (bilak + tirsak)	Harakat tezligi, aniqligi	**O‘rta–yuqori**
7	**Sport reabilitatsiyasi**	Dinamik harakatlar	IMU (ko‘p segmentli)	Yuklanish, simmetriya	**Yuqori**
8	**Uy sharoitida reabilitatsiya**	Kundalik harakatlar	Wearable IMU	Aktivlik darajasi	**Yuqori (long-term)**

Multimodal monitoring va IoT asosidagi yondashuvlar

IMU sensorlarini kuch va fiziologik sensorlar bilan integratsiyalash harakatni faqat kinematik emas, balki mushak faolligi va mexanik yuklanish nuqtai nazaridan ham baholash imkonini beradi [9]. Bunday multimodal yondashuvlar reabilitatsiya mashg‘ulotlari davomida kompensator harakatlarni aniqlash va mashg‘ulot intensivligini moslashtirishda samarali hisoblanadi.

Wearable sensorlarning IoT texnologiyalari bilan integratsiyasi masofaviy monitoring va tele-reabilitatsiya tizimlarini rivojlantirishga xizmat qiladi. Ushbu yondashuv bemorning uy sharoitida bajarilgan mashqlarini uzluksiz kuzatish va natijalarni masofadan tahlil qilish imkonini beradi [25,26].



4-rasm. IMU asosidagi tele-reabilitatsiya tizimining konseptual arxitekturasi.

MUHOKAMA.

IMU asosidagi monitoring tizimlari reabilitatsiya jarayonida harakatni ob’ektiv baholash imkonini bergani bilan, ularni klinik amaliyotga joriy etishda bir qator omillarni hisobga olish zarur. Sensorlarni joylashtirish aniqligi va signal sifati natijalarning ishonchliligiga bevosita ta’sir ko‘rsatadi. Multimodal yondashuvlar harakatni chuqurroq tahlil qilish imkonini bersa-da, ularning murakkabligi va energiya sarfi klinik foydalanishda cheklov bo‘lishi mumkin [27].

ISSN 3030-3907

Mazkur ishda IMU asosidagi kinematik baholash, qo‘shimcha wearable sensorlar bilan multimodal integratsiya, sensor fusion yondashuvlari hamda edge–IoT asosidagi tele-reabilitatsiya arxitekturasi yagona konseptual model doirasida ko‘rib chiqildi. Bunday yondashuv mavjud tadqiqotlarda ko‘pincha alohida yoritiladigan komponentlarni birlashtirib, bemor harakatini real sharoitda uzluksiz va ob’ektiv baholash imkonini beradi. Ayniqsa, uy sharoitida uzoq muddatli reabilitatsiya va masofaviy monitoring talab qilinadigan holatlarda ushbu konseptual model amaliy ahamiyat kasb etadi.

Shu sababli IMU sensorlari klinik baholash usullarini to‘liq almashtirishdan ko‘ra, ularni to‘ldiruvchi vosita sifatida qaralishi maqsadga muvofiqdir.

AFZALLIKLAR VA CHEKLOVLAR.

IMU sensorlarining asosiy afzalliklari portativlik, real sharoitda monitoring va nisbatan past xarajat bilan bog‘liq. Biroq sensor drift, joylashtirishga sezgirlik va batareya resurslarining cheklanganligi ularning amaliy qo‘llanilishini ma’lum darajada cheklaydi [28,29].

XULOSA.

Mazkur maqolada tibbiy reabilitatsiyada IMU asosidagi harakat sensorlarining qo‘llanilish sohalari, multimodal integratsiya imkoniyatlari va klinik ahamiyati tahlil qilindi. Tahlillar shuni ko‘rsatadiki, IMU sensorlari bemor harakatini ob’ektiv va miqdoriy baholash uchun samarali texnologiya hisoblanadi. Kelgusida IoT va sun’iy intellekt asosidagi yondashuvlar ushbu texnologiyalarning reabilitatsiya jarayonidagi ahamiyatini yanada oshirishi kutiladi.

Kelgusida sensor fusion algoritmlarini takomillashtirish, IoT platformalar bilan chuqurroq integratsiya hamda sun’iy intellekt asosidagi harakat tahlili yondashuvlari IMU asosidagi reabilitatsiya monitoring tizimlarining klinik samaradorligini yanada oshirishi kutiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YHATI

1. Mancini M., Horak F.B. Potential of wearable sensors to assess movement disorders. Parkinsonism & Related Disorders, 2016;22(Suppl 1):S164–S170.
2. Del Din S., Godfrey A., Mazza C., Lord S., Rochester L. Free-living gait characteristics in ageing and Parkinson’s disease. Gait & Posture, 2016;43:49–54.
3. Washabaugh E.P., Kalyanaraman T., Adamczyk P.G., Krishnan C. Validity and repeatability of inertial measurement units for gait analysis. Gait & Posture, 2017;55:87–93.
4. Picerno P. 25 years of lower limb joint kinematics using inertial sensors: A review. Gait & Posture, 2017;51:239–246.

ISSN 3030-3907

5. Del Rosario M.B., Redmond S.J., Lovell N.H. Tracking the evolution of smartphone sensing for monitoring human movement. Sensors, 2015;15(8):18901–18933.
6. Patel S., Park H., Bonato P., Chan L., Rodgers M. A review of wearable sensors and systems with application in rehabilitation. Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation, 2012;9:21.
7. Majumder S., Mondal T., Deen M.J. Wearable sensors for remote health monitoring. Sensors, 2017;17(1):130.
8. Merlo A., Campanini I. Applications of surface electromyography in clinical gait analysis. Gait & Posture, 2010;31(3):303–312.
9. van Meulen F.B., Weenk D., Buurke J.H., et al. Ambulatory measurement of trunk and arm movements in stroke patients using IMU and EMG. Sensors, 2016;16(12):2144.
10. Menant J.C., Steele J.R., Menz H.B., et al. Effects of footwear on postural stability and gait. Gait & Posture, 2008;27(2):188–193.
11. Zhang Z., Pi Z., Liu B. Troika: A general framework for heart rate monitoring using wrist-type PPG signals. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 2015;62(2):522–531.
12. Picerno P., Cereatti A., Cappozzo A. Joint kinematics estimation using inertial sensors. Journal of Biomechanics, 2011;44(1):1–7.
13. Sabatini A.M. Quaternion-based extended Kalman filter for human motion tracking. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 2011;58(11):3186–3196.
14. Madgwick S.O.H., Harrison A.J.L., Vaidyanathan R. Estimation of IMU orientation using gradient descent algorithm. IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics, 2011.
15. de Lucena D.S., et al. Multimodal wearable sensing for motor rehabilitation assessment. Biomedical Signal Processing and Control, 2020;58:101837.
16. Hannink J., et al. Mobile stride length estimation with deep learning. IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics, 2017;21(2):522–531.
17. Zijlstra W., Hof A.L. Assessment of spatio-temporal gait parameters from trunk accelerations during human walking. Gait & Posture, 2003;18(2):1–10.
18. Patterson K.K., Gage W.H., Brooks D., Black S.E., McIlroy W.E. Evaluation of gait symmetry after stroke. Gait & Posture, 2010;31(3):365–370.
19. Cutti A.G., Ferrari A., Garofalo P., Raggi M., Cappello A., Ferrari A. 'Outwalk': A protocol for clinical gait analysis based on inertial and magnetic sensors. Medical & Biological Engineering & Computing, 2010;48:17–25.

ISSN 3030-3907

20. Prieto T.E., Myklebust J.B., Hoffmann R.G., Lovett E.G., Myklebust B.M. Measures of postural steadiness: Differences between healthy young and elderly adults. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 1996;43(9):956–966.
21. Moe-Nilssen R. A new method for evaluating motor control in gait under real-life environmental conditions. Gait & Posture, 1998;8(1):12–21.
22. Pham M.H., Elshehabi M., Haertner L., et al. Validation of step detection algorithms in Parkinson's disease. Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation, 2017;14:1–12.
23. Kobsar D., Osis S.T., Boyd J.E., Ferber R. Wearable sensors to predict rehabilitation outcomes. Gait & Posture, 2021;88:99–105.
24. Rehman R.Z.U., Buckley C., Micó-Amigo M.E., et al. Accelerometry-based digital biomarkers in Parkinson's disease. NPJ Digital Medicine, 2020;3:5.
25. Sabourin C., et al. Multimodal wearable sensors for movement and physiological monitoring in rehabilitation. Sensors, 2021;21(9):3124.
26. Islam S.M.R., et al. The Internet of Things for health care: A comprehensive survey. IEEE Access, 2015;3:678–708.
27. Yang C., Hsu Y.L. Remote rehabilitation monitoring using wearable inertial sensors and IoT platforms. IEEE Access, 2022;10:104321–104334.
28. Hannink J., et al. Sensor-based gait parameter extraction using deep learning. IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics, 2020;24(3):716–726.
29. Altilio R., et al. Wearable IMU-based systems for gait and posture assessment. Sensors, 2023;23(21):8950.

ISSN 3030-3907