



BILAKDAN PULS O'LCHASH UCHUN QULAY WEARABLE QURILMALAR: 3D BOSMA VA SILIKON QOLIPLASH TEXNOLOGIYALARI

¹Raximov Bobur Turg'un o'g'li, ²Xo'jabekova Ruxshona G'ayrat qizi,

³O'tkirova Feruza Bekzod qizi

¹Toshkent Davlat Tibbiyot Universiteti assistent

^{2,3}Toshkent Davlat Tibbiyot Universiteti talabasi

Annotatsiya: Ushbu maqolada bilakdan puls o'lchash uchun mo'ljallangan wearable qurilmalarni ishlab chiqishda 3D bosma va silikon qoliplash texnologiyalarining o'rni tahlil qilinadi. Ergonomik dizayn, foydalanuvchi qulayligi va signal aniqligini oshirish maqsadida individual moslashuvchan silikon interfeyslar yaratish yondashuvlari ko'rib chiqiladi. Tadqiqot natijalari wearable qurilmalar samaradorligini oshirishda muhim ahamiyatga ega ekanligini ko'rsatadi.

Kalit so'zlar: Wearable qurilmalar, puls monitoringi, 3D bosma texnologiya, silikon qoliplash, biomoslashuvchan materiallar, ergonomik dizayn, individual moslashuv, bilakdan puls o'lchash, tibbiy sensorlar, signal aniqligi, telemeditsina, uzluksiz monitoring, yurak-qon tomir tizimi, rehabilitatsiya, additiv ishlab chiqarish.

Kirish

So'nggi o'n yillikda raqamli sog'liqni saqlash texnologiyalarining jadal rivojlanishi natijasida inson organizmining fiziologik ko'rsatkichlarini uzluksiz monitoring qilish imkoniyati sezilarli darajada kengaydi. Ayniqsa, Wearable Technology asosida ishlab chiqilgan qurilmalar yurak urish tezligi, qon aylanishi va boshqa biometrik parametrlarni real vaqt rejimida kuzatish orqali profilaktika va diagnostika jarayonlarini takomillashtirishga xizmat qilmoqda.

Bilak sohasidan puls signalini o'lchash keng qo'llaniladigan yondashuvlardan biri bo'lib, u invaziv bo'lmagan usul sifatida qulaylik va foydalanish soddaligi bilan



ajralib turadi. Biroq, puls signalining aniqligi ko‘p jihatdan sensorning teri yuzasi bilan kontakt sifati, joylashuv barqarorligi hamda tashqi mexanik ta’sirlarga sezgirligiga bog‘liq. Shu sababli, Biomedical Engineering doirasida sensor va inson tanasi o‘rtasidagi interfeysni optimallashtirish muhim ilmiy muammo sifatida qaralmoqda.

An’anaviy wearable qurilmalar odatda standart (universal) dizayn asosida ishlab chiqariladi, bu esa individual anatomik farqlarni yetarli darajada hisobga olmaslikka olib keladi. Natijada, sensorning noto‘g‘ri joylashuvi yoki yetarli bosim hosil qilmasligi sababli signal sifati pasayadi va o‘lchovlarda xatolik yuzaga keladi. Ushbu muammoni hal etishda moslashuvchan, ergonomik va individual dizayn yondashuvlarini qo‘llash zarurati yuzaga kelmoqda.

Shu nuqtai nazardan, 3D bosma (additive manufacturing) texnologiyalari va silikon qoliplash usullarining integratsiyasi katta istiqbolga ega. 3D printer yordamida foydalanuvchining bilak anatomiyasiga mos qoliplar ishlab chiqilib, ular asosida silikon materiallardan elastik va biomoslashuvchan interfeyslar tayyorlanadi. Bunday yondashuv sensorning teri bilan kontaktini yaxshilab, signal aniqligini oshirish bilan birga, foydalanuvchi qulayligini ham sezilarli darajada oshiradi.

Asosiy qism

Mazkur maqolada bilakdan puls o‘lchash uchun mo‘ljallangan wearable qurilmalarni takomillashtirishda 3D bosma va silikon qoliplash texnologiyalarining imkoniyatlari, afzalliklari hamda ularning amaliy qo‘llanilishi ilmiy nuqtai nazardan tahlil qilinadi.

Bilakdan puls signalini o‘lchashga mo‘ljallangan wearable qurilmalar tibbiy amaliyotda, ayniqsa yurak-qon tomir kasalliklari bilan og‘rigan bemorlarni uzluksiz monitoring qilishda muhim ahamiyat kasb etadi. Biroq, mavjud qurilmalarning aksariyati klinik aniqlik talablariga to‘liq javob bermaydi, bu esa ularni diagnostik vosita sifatida qo‘llash imkoniyatini cheklaydi. Bular:



birinchi muammo — sensorning teri yuzasi bilan yetarli darajada va barqaror kontakt hosil qilmasligidir. Bemorlarda, ayniqsa yoshi katta yoki teri elastikligi pasaygan shaxslarda, sensorning noto‘g‘ri joylashuvi puls signalining buzilishiga olib keladi. Bu holat noto‘g‘ri o‘lchov natijalariga sabab bo‘lib, klinik qaror qabul qilish jarayoniga salbiy ta‘sir ko‘rsatishi mumkin.

ikkinchi muammo — bemorning kundalik harakatlari davomida signal barqarorligining buzilishidir. Rehabilitatsiya davridagi bemorlar yoki faol harakat qiluvchi shaxslar uchun sensorning siljishi natijasida yuzaga keladigan artefaktlar signalning yo‘qolishiga yoki noto‘g‘ri interpretatsiyasiga olib keladi. Bu esa uzluksiz monitoringning ishonchliligini pasaytiradi.

uchinchi muammo — qurilmalarning universal dizayni tufayli individual anatomik xususiyatlarning inobatga olinmasligidir. Har bir bemorning bilak tuzilishi, arteriya joylashuvi va yumshoq to‘qimalar qalinligi turlicha bo‘lgani sababli standart qurilmalar barcha foydalanuvchilar uchun optimal natija bermaydi. Ayniqsa, surunkali kasalliklarga ega bemorlarda yuqori aniqlikdagi o‘lchovlar muhim hisoblanadi.

Yuqoridagi muammolarni hal qilish uchun bemor anatomiyasiga moslashuvchi, elastik va biomoslashuvchan interfeyslarni ishlab chiqish zarur. Shu nuqtai nazardan, silikon materiallardan tayyorlangan individual qoliplar samarali yechim sifatida qaraladi. 3D bosma texnologiyalari yordamida har bir bemor uchun alohida moslashtirilgan qoliplar ishlab chiqish orqali sensorning teri bilan kontakti yaxshilanadi, signal barqarorligi oshadi va o‘lchov aniqligi sezilarli darajada yuqori bo‘ladi. Natijada, bunday yondashuv wearable qurilmalarni nafaqat kundalik foydalanish vositasi, balki tibbiy monitoringning ishonchli komponentiga aylantirish imkonini beradi.

Silikon qoliplash texnologiyasi wearable qurilmalar, xususan bilakdan puls o‘lchash tizimlarida sensor va inson terisi o‘rtasidagi interfeysni optimallashtirishda muhim ahamiyat kasb etadi. Ushbu texnologiya elastik, biomoslashuvchan va



ergonomik jihatdan qulay strukturalarni yaratish imkonini beradi. Silikon materiallari o'zining fizik-kimyoviy xususiyatlari bilan ajralib turadi: yuqori elastiklik, deformatsiyaga chidamlilik, toksik emasligi va inson terisi bilan mosligi (biocompatibility). Shu sababli u tibbiy qurilmalar ishlab chiqarishda keng qo'llaniladi. Ayniqsa, uzoq muddat davomida bemor tanasi bilan bevosita aloqada bo'ladigan wearable tizimlar uchun silikon eng maqbul materiallardan biri hisoblanadi. Mazkur texnologiya odatda 3D bosma asosida tayyorlangan qolip (mold) yordamida amalga oshiriladi. Dastlab bemorning bilak anatomiyasi asosida raqamli model yaratiladi va 3D printer yordamida qolip ishlab chiqiladi. Keyinchalik ushbu qolipga suyuq silikon quyilib, ma'lum vaqt davomida qotiriladi (curing jarayoni). Natijada bemorning bilak shakliga to'liq moslashuvchi elastik silikon struktura hosil bo'ladi.

Silikon qoliplash jarayonida muhim texnologik parametrlar quyidagilardan iborat:

- silikonning viskozligi va quyilish xususiyati
- qotish (curing) vaqti va harorati
- qolipning aniqlik darajasi
- yakuniy mahsulotning elastiklik moduli

Ushbu parametrlarning optimal tanlanishi tayyor mahsulotning sifatiga bevosita ta'sir ko'rsatadi.

Bemorlar uchun mo'ljallangan puls o'lchash qurilmalarida silikon qoliplar bir necha muhim funksiyalarni bajaradi. Birinchidan, ular sensorni kerakli nuqtada barqaror ushlab turadi va arteriya ustida to'g'ri joylashuvni ta'minlaydi. Ikkinchidan, silikonning yumshoqligi tufayli teriga bir tekis bosim beradi, bu esa signal sifatini yaxshilaydi. Uchinchidan, tashqi mexanik ta'sirlarni (harakat, tebranish) qisman yutib, signal shovqinlarini kamaytiradi. Bundan tashqari, individual moslashtirilgan silikon qoliplar bemor qulayligini oshiradi va qurilmadan uzoq muddat foydalanishni osonlashtiradi. Bu ayniqsa surunkali kasalliklarga ega



bemorlar uchun muhim bo‘lib, uzluksiz monitoring jarayonining samaradorligini oshiradi. Shunday qilib, silikon qoliplash texnologiyasi wearable puls monitoring qurilmalarida nafaqat konstruktiv element, balki signal aniqligi va klinik ishonchlilikni ta’minlovchi muhim komponent sifatida qaraladi.

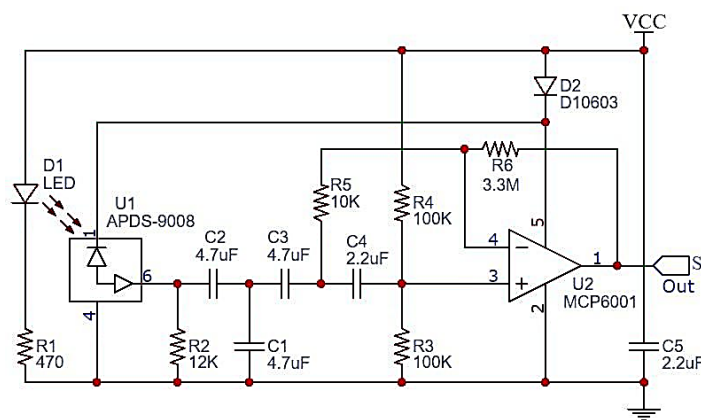
Tatqiqot natijasi

3D bosma va silikon qoliplash texnologiyalari asosida ishlab chiqilgan bilakdan puls o‘lchash qurilmalari turli amaliy sohalarda, ayniqsa tibbiyot va sog‘liqni monitoring qilish tizimlarida keng qo‘llanilishi mumkin. Ushbu yondashuv individual moslashuvchanlik va yuqori aniqlikni ta’minlaganligi sababli, u an’anaviy wearable qurilmalarga nisbatan sezilarli ustunliklarga ega.

➤ Birinchidan, ushbu texnologiya yurak-qon tomir kasalliklari bilan og‘rigan bemorlarni uzluksiz monitoring qilishda samarali qo‘llaniladi. Individual silikon interfeyslar yordamida sensorning teri bilan barqaror kontakti ta’minlanadi, bu esa puls signalini aniq va ishonchli qayd etish imkonini beradi. Natijada, aritmiya, taxikardiya yoki bradikardiya kabi holatlarni erta aniqlash imkoniyati oshadi.

➤ Ikkinchidan, rehabilitatsiya jarayonida bemorlarning fiziologik holatini kuzatishda ushbu qurilmalar muhim rol o‘ynaydi. Harakat vaqtida signal barqarorligini saqlab qolish qobiliyati tufayli, silikon qolip asosidagi wearable tizimlar bemorning jismoniy yuklama darajasini to‘g‘ri baholash imkonini beradi. Bu esa shifokorlarga davolash jarayonini individual tarzda moslashtirishga yordam beradi.

➤ Uchinchidan, uzoq muddatli monitoring talab qilinadigan holatlarda (masalan, surunkali kasalliklar yoki uy sharoitida davolanish) ushbu qurilmalar yuqori qulaylikni ta’minlaydi. Silikonning elastik va yumshoq xususiyatlari bemorga noqulaylik tug‘dirmaydi, bu esa qurilmadan uzluksiz foydalanishni osonlashtiradi va monitoring samaradorligini oshiradi.



1-rasm. Fotopletizmografiya (PPG) prinsipiga asoslanib ishlaydigan puls o'chash sxemasi

Mazkur sxema PPG asosida inson yurak urishini aniqlash uchun mo'ljallangan bo'lib, optik sensor orqali olingan zaif biologik signalni ko'p bosqichli filtrlash va kuchaytirish orqali qayta ishlaydi. Operatsion kuchaytirgich asosidagi aktiv filtrlar yordamida foydali signal ajratib olinadi va shovqinlar minimallashtiriladi. Ushbu yondashuv wearable qurilmalarda yuqori aniqlik va barqaror o'lchovlarni ta'minlaydi. Ushbu sxema asosida taklif etilayotgan qurilmamizning sxemasi va visual ko'rinishini yaratilib qurilma uchun dasturiy qismi amalga oshirildi. Bunda teriga yorug'lik yuboradi APDS-9008 fotodatchik yorug'likni qabul qiladi. Shu asosida qon hajmi pulsatsiya sababli o'zgaradi, natijada qaytgan yorug'lik intensivligi o'zgaradi. Fotodatchik bu o'zgarishni elektr signalga aylantiradi.

Bundan tashqari, mazkur texnologiya sport tibbiyoti va fitness sohasida ham qo'llanilishi mumkin. Sportchilar uchun individual moslashtirilgan qurilmalar yordamida yurak urish tezligini yuqori aniqlikda kuzatish, yuklama darajasini optimallashtirish va ortiqcha zo'riqishning oldini olish mumkin. Shuningdek, telemeditsina tizimlarida ushbu qurilmalar masofadan turib bemor holatini kuzatish imkonini beradi. Bu ayniqsa uzoq hududlarda yashovchi bemorlar uchun muhim bo'lib, tibbiy xizmatlarga kirish imkoniyatini kengaytiradi. Umuman olganda, 3D bosma va silikon qoliplash texnologiyalarining amaliy qo'llanilishi wearable puls



monitoring qurilmalarini nafaqat qulay va moslashuvchan, balki klinik jihatdan ishonchli tizimga aylantirishga xizmat qiladi.

Xulosa

Mazkur tadqiqotda bilakdan puls o'lchashga mo'ljallangan wearable qurilmalarni takomillashtirishda 3D bosma va silikon qoliplash texnologiyalarining ahamiyati tahlil qilindi. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, an'anaviy qurilmalarda uchraydigan asosiy muammolar — sensorning teri bilan yetarli darajada kontakt qilmasligi, harakat jarayonida signal barqarorligining buzilishi hamda universal dizayn tufayli individual anatomik farqlarning hisobga olinmasligi — o'lchov aniqligini sezilarli darajada pasaytiradi. 3D bosma texnologiyalari yordamida bemor bilagining individual anatomik xususiyatlariga mos qoliplar yaratish imkoniyati ushbu muammolarni samarali bartaraf etishga xizmat qiladi. Silikon qoliplash esa elastik, biomoslashuvchan va ergonomik interfeys hosil qilib, sensorning teri bilan optimal kontaktini ta'minlaydi. Natijada puls signalining aniqligi va barqarorligi oshadi, bu esa qurilmaning klinik ishonchliligini yaxshilaydi. Shuningdek, individual silikon interfeyslar bemor qulayligini oshirib, qurilmadan uzoq muddat foydalanishni osonlashtiradi. Bu esa uzluksiz monitoring tizimlarida muhim ahamiyat kasb etadi va telemeditsina hamda masofaviy sog'liqni nazorat qilish imkoniyatlarini kengaytiradi.

Kelgusida ushbu yo'nalishda olib boriladigan tadqiqotlar silikon materiallarning yangi turlarini qo'llash, sensor texnologiyalarini takomillashtirish hamda sun'iy intellekt asosida signalni qayta ishlash usullarini integratsiya qilishga qaratilishi maqsadga muvofiqdir. Umuman olganda, 3D bosma va silikon qoliplash texnologiyalarining uyg'unlashuvi wearable puls monitoring qurilmalarini yangi bosqichga olib chiqib, ularni tibbiy amaliyotda keng qo'llash imkonini yaratadi.

Foydalangan adabiyotlar ro'yxati:

1. Kim, D. H., et al. (2011). *Epidermal electronics*. Science, 333(6044), 838–843. (Wearable qurilmalar va teriga yopishuvchi sensorlar haqida)



2. Stoppa, M., & Chiolerio, A. (2014). *Wearable electronics and smart textiles: a critical review*. *Sensors*, 14(7), 11957–11992. (Wearable texnologiyalar va sensor integratsiyasi)
3. Tappa, K., & Jammalamadaka, U. (2018). *Novel Biomaterials Used in Medical 3D Printing Techniques*. *Journal of Functional Biomaterials*, 9(1), 17. (3D bosma va biomateriallar, silikon materiallar)
4. Ventola, C. L. (2014). *Medical Applications for 3D Printing: Current and Projected Uses*. *Pharmacy and Therapeutics*, 39(10), 704–711. (3D printingning tibbiyotdagi qo‘llanilishi)