

Artificial Skin: Advances, Biomedical Applications, and Future Prospects in Robotics

Dr.S.Radharani¹, Dr.V,B Narasimha², B.Chandradeep³

¹Dept of Computer Science MJPTBCWRDC wargal, Siddipet ,Telangana-India

²Dept of CSE, Osmania University, Hyderabad,Telangana-India

³Dept of Robotics and AI, VNR VJIET

Dr.S.Radharani *: ramsmcaou@gmail.com

Dr.V.B.Narasimha*: ybnarasimha@gmail.com

B.Chandradeep*: b.chandradeepjhcsp@gmail.com

కృత్రిమ చర్మం: రోబోటిక్స్‌లో పురోగతి, బయోమెడికల్ అప్లికేషన్లు మరియు భవిష్యత్తు అవకాశాలు

డాక్టర్ ఎస్. రాధారాణి ¹, డాక్టర్ వి. బి. నరసింహ ², బి. చంద్రదీప్ ³

¹ కంప్యూటర్ సైన్స్ విభాగం MJPTBCWRDC వార్డల్, సిద్దిపేట, తెలంగాణ - భారతదేశం

² సిఎస్ఇ విభాగం, ఉస్మానియా విశ్వవిద్యాలయం, హైదరాబాద్, తెలంగాణ - భారతదేశం

³ రోబోటిక్స్ మరియు AI విభాగం, VNR VJIET

డా.ఎస్.రాధారాణి *: ramsmcaou@gmail.com

Dr.VBNarasimha *: ybnarasimha@gmail.com

బి.చంద్రదీప్ *: b.chandradeepjhcsp@gmail.com

సారాంశం

బయోమెడికల్ ఇంజనీరింగ్, టిష్యూ ఇంజనీరింగ్ మరియు రోబోటిక్స్‌లో కృత్రిమ చర్మం కీలకమైన ఆవిష్కరణగా మారింది. సహజ మానవ చర్మం యొక్క నిర్మాణం మరియు విధులను అనుకరించడానికి రూపొందించబడిన కృత్రిమ చర్మం కాలిన చికిత్స, దీర్ఘకాలిక గాయం నయం మరియు శస్త్రచికిత్స పునర్నిర్మాణంలో కీలక పాత్ర పోషిస్తుంది. బయోమెటీరియల్స్, నానోటెక్నాలజీ మరియు టిష్యూ ఇంజనీరింగ్‌లో పురోగతి బయోఇంజనీర్డ్ స్కాఫోల్డ్లు మరియు 3D బయో ప్రింటెడ్ స్కిన్ ప్రత్యామ్నాయాల అభివృద్ధిని సాధ్యం చేసింది. క్లినికల్ అప్లికేషన్లకు మించి, నానో సెన్సార్లతో అనుసంధానించబడిన కృత్రిమ ఎలక్ట్రానిక్ స్కిన్ (ఇ-స్కిన్) రోబోటిక్స్ మరియు ప్రోస్థెటిక్స్‌ను మారుస్తోంది, స్పర్శ సెన్సింగ్,

ఉష్ణోగ్రత గుర్తింపు మరియు రియల్-టైమ్ ఫీడ్బ్యాక్ కోసం సామర్థ్యాలను అందిస్తుంది. ఈ పత్రం బయోమెడికల్ మరియు రోబోటిక్ డొమైన్లపై దృష్టి సారించి కృత్రిమ చర్మం యొక్క పరిణామం, పదార్థాలు, తయారీ పద్ధతులు మరియు అనువర్తనాలను సమీక్షిస్తుంది. బయో కాంపాబిలిటీ, రోగనిరోధక తిరస్కరణ మరియు ఖర్చు వంటి సవాళ్లను స్టెమ్-సెల్-ఆధారిత గ్రాఫ్టింగ్ మరియు తదుపరి తరం ప్రోస్తేటిక్స్ మరియు హ్యూమనాయిడ్ రోబోట్ల కోసం ఇంటెలిజెంట్ ఎలక్ట్రానిక్ స్కిన్లో భవిష్యత్తు దిశలతో పాటు చర్చించారు.

కీలకపదాలు:

కృత్రిమ చర్మం, కణజాల ఇంజనీరింగ్, బయోమెడికల్ ఇంజనీరింగ్, ఎలక్ట్రానిక్ చర్మం, రోబోటిక్స్, నానో పదార్థాలు, ప్రోస్తేటిక్స్

1. పరిచయం

చర్మం మానవ శరీరంలోని అతిపెద్ద అవయవం, ఇది రక్షణ, ఇంద్రియ అవగాహన మరియు థర్మోర్గ్యులేషన్ ను అందిస్తుంది. తీవ్రమైన కాలిన గాయాలు, దీర్ఘకాలిక గాయాలు మరియు బాధాకరమైన గాయాలు ప్రధాన వైద్య సవాళ్లను కలిగిస్తాయి, తరచుగా అంటుకట్టుటలు లేదా ప్రత్యామ్నాయాలు అవసరం. ఆటో గ్రాఫ్ట్లు మరియు అల్లోగ్రాఫ్ట్లకు ప్రత్యామ్నాయంగా కృత్రిమ చర్మం అభివృద్ధి చేయబడింది, ఇది ప్రభావవంతమైన గాయం కవరేజీని అందిస్తుంది మరియు కణజాల పునరుత్పత్తిని ప్రోత్సహిస్తుంది. సమాంతరంగా, రోబోటిక్స్లో పురోగతులు కృత్రిమ ఎలక్ట్రానిక్ చర్మం (ఇ-స్కిన్) అభివృద్ధికి దారితీశాయి, ఇది ప్రోస్తేటిక్స్ మరియు హ్యూమనాయిడ్ రోబోట్లకు ఇంద్రియ సామర్థ్యాలను ప్రతిబింబిస్తుంది. బయోమెడికల్ మరియు ఇంజనీరింగ్ విభాగాల ఈ కలయిక కృత్రిమ చర్మాన్ని ఆవిష్కరణల సరిహద్దుగా మార్చింది.

2. సాహిత్య సర్వే

కృత్రిమ చర్మం అనే భావన 1980 లలో ఇంటిగ్రే® అభివృద్ధి నాటిది, ఇది గాయాల వైద్యం కోసం కొల్లాజెన్-గ్లైకోసమినోగైకాన్ స్కాఫోల్డ్లను ఉపయోగించింది. తరువాత, అప్లిగ్రాఫ్® మరియు డెర్మాగ్రాఫ్® వంటి బయో ఇంజనీర్డ్ ఉత్పత్తులు లివింగ్ సెల్-ఆధారిత చర్మ ప్రత్యామ్నాయాలను ప్రవేశపెట్టాయి. ఇటీవలి పరిశోధన నానోమెటీరియల్స్ , హైడ్రోజెల్స్ మరియు స్టెమ్-సెల్-ఆధారిత బయో ఇంజనీర్డ్ గ్రాఫ్ట్లపై దృష్టి

పెడుతుంది. రోబోటిక్స్‌లో, ఫ్లెక్సిబుల్ నానోమెటీరియల్స్ మరియు కండక్టివ్ పాలిమర్లను ఉపయోగించి ఎలక్ట్రానిక్ స్కిన్ అన్వేషించబడింది , రోబోట్లు మరియు ప్రోస్థెటిక్స్ స్పర్శ, పీడనం మరియు ఉష్ణోగ్రతను గ్రహించడానికి వీలు కల్పిస్తుంది. నేచర్ మరియు IEEE జర్నల్స్‌లోని అధ్యయనాలు కృత్రిమ చర్మం కోసం ఫ్లెక్సిబుల్ ఎలక్ట్రానిక్స్, సాఫ్ట్ సెన్సార్లు మరియు బయో కాంపాజిబుల్ ఇంటర్ఫేస్‌లలో పురోగతులను హైలైట్ చేస్తాయి.

3. కృత్రిమ చర్మానికి సంబంధించిన పదార్థాలు

ఇ-స్కిన్ పనితీరుకు పదార్థాల ఎంపిక ప్రాథమికమైనది. ¹⁰ ఈ పదార్థాలు తగిన ఉపరితలం ("చర్మం") మరియు క్రియాశీల సెన్సింగ్ మూలకాలను ("నరాలు") అందించాలి.

3.1. సబ్స్ట్రేట్ మెటీరియల్స్

ఉపరితలం అనువైనదిగా, సాగదీయగలదిగా మరియు జీవ అనుకూలతను కలిగి ఉండాలి.

- **ఎలాస్టోమర్లు:** పాలిడైమెథైల్సిక్లోప్సేన్ (PDMS) మరియు పాలియూరేతేన్ (PU) వాటి అద్భుతమైన స్థితిస్థాపకత, రసాయన జడత్వం మరియు స్థిరపడిన జీవ అనుకూలత కారణంగా విస్తృతంగా ఉపయోగించే పదార్థాలు. ¹¹ అవి ఎలక్ట్రానిక్ భాగాలను పొందుపరచడానికి బలమైన మరియు సౌకర్యవంతమైన మాతృకగా పనిచేస్తాయి. ¹²
- **హైడ్రోజెల్స్:** ఇవి నీటితో నిండిన పాలిమర్ నెట్‌వర్క్‌లు, ఇవి యాంత్రికంగా జీవ కణజాలాలను పోలి ఉంటాయి. వాటి అధిక నీటి కంటెంట్ మరియు పోరస్ నిర్మాణం ఉన్నతమైన బయోకంపాటిబిలిటీ మరియు అయానిక్ వాహకతను అందిస్తాయి, వీటిని సెన్సింగ్ కోసం ఉపయోగించుకోవచ్చు. ఇవి బయోమెడికల్ అనువర్తనాలకు ముఖ్యంగా ఆశాజనకంగా ఉంటాయి కానీ నిర్వహితకరణం మరియు తక్కువ యాంత్రిక దృఢత్వంతో బాధపడవచ్చు.

3.2. యాక్టివ్ సెన్సింగ్ మెటీరియల్స్

ఈ పదార్థాలు భౌతిక ఉద్దీపనలను విద్యుత్ సంకేతాలుగా మారుస్తాయి. ¹³

- **నానోమెటీరియల్స్ :** కార్బన్ నానోట్యూబ్‌లు (CNT లు), గ్రాఫేన్ మరియు మెటల్ నానోవైర్లు (ఉదా., సిల్వర్ నానోవైర్లు, Ag NW లు) సాధారణంగా ఉపయోగించబడతాయి. ఎలాస్టోమెరిక్ మ్యాట్రిక్స్‌లో విలీనం చేయబడినప్పుడు, వాటి విద్యుత్ లక్షణాలు యాంత్రిక ఒత్తిడి కింద అంచనా వేయదగిన విధంగా మారుతాయి. ఉదాహరణకు, CNT -పాలిమర్ మిశ్రమాన్ని సాగదీయడం వలన నానోట్యూబ్‌ల మధ్య దూరం పెరుగుతుంది, ఇది నిరోధకతలో కొలవగల మార్పుకు దారితీస్తుంది (పైజోరెసిస్టివిటీ).

- **వాహక పాలిమర్లు: PEDOT :PSS** (పాలీ(3,4-ఇథిలీన్ డయాక్సిథియోఫెన్) పాలీస్టైరిన్ సల్ఫోనేట్) వంటి పదార్థాలు స్వాభావిక వశ్యత మరియు వాహకతను అందిస్తాయి, ఇవి పారదర్శకంగా మరియు సాగదీయగల ఎలక్ట్రోడ్లను సృష్టించడానికి అనుకూలంగా ఉంటాయి.
- **అయానిక్ కండక్టర్లు:** అయాన్-ఆధారిత ఇ-స్కిన్లో, హైడ్రోజెల్ లేదా అయానిక్ ద్రవంలోని అయాన్లు ఒత్తిడికి ప్రతిస్పందనగా కదులుతాయి, కెపాసిటెన్స్ లేదా విద్యుత్ పొటెన్షియల్ లో మార్పును సృష్టిస్తాయి, దీనిని కొలవవచ్చు. ఈ యంత్రాంగం ముఖ్యంగా జీవ నాడీ సిగ్నలింగ్కు సమానంగా ఉంటుంది.

4. ఫ్యాబ్రికేషన్ టెక్నిక్స్

అధిక పనితీరు మరియు యాంత్రికంగా అనుకూలత కలిగిన పరికరాలను సృష్టించడానికి వినూత్నమైన తయారీ వ్యూహాలు అవసరం.

- **మైక్రోఫ్యాబ్రికేషన్ :** సెమీకండక్టర్ పరిశ్రమ నుండి స్వీకరించబడిన సాంప్రదాయ ఫోటోలిథోగ్రఫీ మరియు ఎచింగ్ పద్ధతులు, సౌకర్యవంతమైన ఉపరితలాలపై అత్యంత ఖచ్చితమైన సెన్సార్ నమూనాలను రూపొందించడానికి ఉపయోగించబడతాయి.¹⁴
- **సంకలిత తయారీ (3D ప్రింటింగ్): డైరెక్ట్ ఇంక్ రైటింగ్ (DIW)** మరియు స్టీరియోలిథోగ్రఫీ (SLA) వంటి పద్ధతులు అనుకూలీకరించిన, సంక్లిష్టమైన 3D నిర్మాణాల యొక్క వేగవంతమైన నమూనా మరియు తయారీకి అనుమతిస్తాయి.¹⁵ ఇది ప్రత్యేకంగా బహుళ-పొరల సెన్సార్లను నేరుగా వక్ర ఉపరితలాలపై ముద్రించడానికి ఉపయోగపడుతుంది, ఉదాహరణకు ప్రొస్థెటిక్ హ్యాండ్.
- **పరిష్కార-ఆధారిత ప్రక్రియలు:** స్పిన్ కోటింగ్, స్ప్రే కోటింగ్ మరియు స్క్రీన్ ప్రింటింగ్ వంటి సరళమైన మరియు స్కేలబుల్ పద్ధతులను ఉపయోగించి క్రియాశీల పదార్థాల సన్నని పొరలను పెద్ద ప్రాంతాలలో జమ చేస్తారు, ఇది తయారీకి ఖర్చుతో కూడుకున్న మార్గాన్ని అందిస్తుంది.
- **స్వీయ-అసెంబ్లీ:** అణువులు లేదా నానోపార్టికల్స్ కావలసిన నిర్మాణాలలో ఆకస్మికంగా నిర్వహించబడేలా రూపొందించబడిన దిగువ నుండి పైకి వచ్చే విధానం. పరిశోధన ప్రారంభ దశలోనే ఉన్నప్పటికీ, స్వీయ-అసెంబ్లీ సహజ చర్మంలో కనిపించే రకమైన క్రమానుగత సంక్లిష్టతను సృష్టించడానికి ఒక మార్గాన్ని వాగ్దానం చేస్తుంది.

5. సెన్సింగ్ పద్ధతులు

ఆధునిక ఇ-స్కిన్ బహుళ నమూనా అవగాహనను సాధించడానికి వివిధ రకాల సెన్సార్లను కలిగి ఉంటుంది.¹⁶

- **పైజోరెసిస్టివ్ సెన్సింగ్:** అత్యంత సాధారణ విధానం, ఇక్కడ యాంత్రిక వైకల్యానికి (స్ట్రెయిన్, పీడనం) ప్రతిస్పందనగా పదార్థం యొక్క విద్యుత్ నిరోధకత మారుతుంది.

- **కెపాసిటివ్ సెన్సింగ్:** డైఎలెక్ట్రిక్ ద్వారా వేరు చేయబడిన రెండు వాహక పొరలను కలిగి ఉంటుంది. పీడనం డైఎలెక్ట్రిక్‌ను కుదిస్తుంది, కెపాసిటెన్స్‌ను పెంచుతుంది. ఈ పద్ధతి స్టాటిక్ మరియు డైనమిక్ శక్తులు రెండింటికీ అత్యంత సున్నితంగా ఉంటుంది.
- **పైజోఎలెక్ట్రిక్ సెన్సింగ్:** కొన్ని పదార్థాలు (ఉదా., ZnO నానోవైర్లు, PVDF పాలిమర్) యాంత్రిక ఒత్తిడికి గురైనప్పుడు విద్యుత్ వోల్టేజీను ఉత్పత్తి చేస్తాయి. ¹⁷ కంపనం మరియు ఆకృతి వంటి డైనమిక్ సంఘటనలను గుర్తించడానికి ఇది అద్భుతమైనది.
- **ఉష్ణోగ్రత సెన్సింగ్:** సాధారణంగా ఉష్ణోగ్రతతో నిరోధకత మారే పదార్థాలను (థర్మిస్టర్లు) సమగ్రపరచడం ద్వారా లేదా ఉష్ణోగ్రత ప్రవణతలో వోల్టేజీ ఉత్పత్తి అయ్యే థర్మోఎలెక్ట్రిక్ ప్రభావాలను ఉపయోగించడం ద్వారా సాధించబడుతుంది.

6. బయోమెడికల్ అప్లికేషన్స్: హెల్త్‌కేర్‌లో కొత్త యుగం

కృత్రిమ చర్మం వైద్య పరికరాలను నిష్క్రియాత్మక సాధనాల నుండి మానవ శరీరంతో సజావుగా కలిసిపోయే చురుకైన, సెన్సింగ్ ప్లాట్‌ఫామ్‌లుగా మార్చడానికి సిద్ధంగా ఉంది.

6.1 ఇంద్రియ అభిప్రాయంతో కూడిన అధునాతన ప్రోస్థెటిక్స్

అవయవాలు కోల్పోయిన వ్యక్తులకు స్పర్శ భావాన్ని పునరుద్ధరించడంలో ఇ-స్కిన్ యొక్క అత్యంత లోతైన అప్లికేషన్ బహుశా.

- **లూప్‌ను మూసివేయడం:** ప్రోస్థెటిక్ చేతిని కప్పి ఉంచే E -చర్మం ఒత్తిడి, ఆకృతి మరియు ఉష్ణోగ్రతను గుర్తించగలదు. ఈ సమాచారం విద్యుత్ సంకేతాలుగా మార్చబడుతుంది, ఇది అమర్చిన ఎలక్ట్రోడ్‌ల ద్వారా వినియోగదారు నాడీ వ్యవస్థకు ప్రసారం చేయబడుతుంది. ఈ "ఇంద్రియ అభిప్రాయం" వినియోగదారుడు ప్రోస్థెటిక్ ఏమి తాకుతుందో అనుభూతి చెందడానికి అనుమతిస్తుంది, దానిని నిష్క్రియాత్మక సాధనం నుండి శరీరం యొక్క మరింత సహజ పొడిగింపుగా మారుస్తుంది. మృదువైన పండు మరియు కఠినమైన వస్తువు మధ్య తేడాను గుర్తించడం వంటి సామర్థ్యం అవసరమయ్యే పనులకు ఇది చాలా ముఖ్యమైనది.
- **ఫాంటమ్ లింబ్ నొప్పిని తగ్గించడం:** వాస్తవిక ఇంద్రియ అభిప్రాయాన్ని అందించడం వలన అనేక మంది ఆంప్యూటేలు అనుభవించే ఫాంటమ్ లింబ్ నొప్పిని తగ్గించడంలో సహాయపడుతుందని, వారి మొత్తం జీవన నాణ్యతను మెరుగుపరుస్తుందని అధ్యయనాలు చెబుతున్నాయి.

6.2 స్మార్ట్ వేరబుల్స్ మరియు గాయాల పర్యవేక్షణ

- **ఎపిడెమియోలాజీస్:** అతి సన్నని, టాటూ లాంటి ఈ-స్కిన్ ప్యాచ్‌లు చర్మానికి అతుక్కుని, హృదయ స్పందన రేటు, శ్వాసక్రియ, ఉష్ణోగ్రత మరియు రక్త ఆక్సిజన్ స్థాయిలు వంటి ముఖ్యమైన సంకేతాలను నిరంతరం పర్యవేక్షించగలవు, ఎటువంటి గజిబిజిగా ఉండే వైర్లు లేకుండా.
- **స్మార్ట్ గాయం డ్రెస్సింగ్‌లు:** వైద్యం ప్రక్రియను పర్యవేక్షించే స్మార్ట్ డ్రెస్సింగ్‌లను రూపొందించడానికి E - స్కిన్‌ను బ్యాండ్‌జ్‌లలో విలీనం చేయవచ్చు. ఎంబెడెడ్ సెన్సార్లు గాయం ద్రవంలో ఉష్ణోగ్రత (ఇన్‌ఫ్లెక్షన్ సంకేతాల కోసం) లేదా జీవరసాయన గుర్తులను ట్రాక్ చేయగలవు, వైద్యులకు రియల్-టైమ్ డేటాను అందిస్తాయి మరియు గాయం జరిగిన ప్రదేశానికి నేరుగా మందుల విడుదలను ప్రేరేపించగలవు.

7. రోబోటిక్స్‌లో భవిష్యత్తు అవకాశాలు

రోబోటు నియంత్రిత పారిశ్రామిక సెట్టింగ్‌ల నుండి డైనమిక్ మానవ వాతావరణాలకు మారడానికి , అధునాతన స్పర్శ భావన విలాసం కాదు - ఇది ఒక అవసరం.

7.1 మానవ-రోబోట్ పరస్పర చర్యను మెరుగుపరచడం (HRI)

సహకార రోబోట్‌లను విస్తృతంగా స్వీకరించడానికి భద్రత అతిపెద్ద అవరోధం. దీనిని అధిగమించడానికి □-స్కిన్ కీలకం. పూర్తి శరీర "చర్మం"తో కప్పబడిన రోబోట్ ఎంత తేలికగా ఉన్నా, మానవుడితో అనుకోని సంబంధాన్ని తక్షణమే గుర్తించగలదు. ఇది గాయాన్ని నివారించడానికి రోబోట్ తన కదలికను ఆపడానికి లేదా సర్దుబాటు చేయడానికి అనుమతిస్తుంది, తయారీ, లాజిస్టిక్స్ మరియు వృద్ధుల సంరక్షణ వంటి సెట్టింగ్‌లలో సన్నిహిత సహకారాన్ని సాధ్యం చేస్తుంది.

7.2 అధునాతన స్పర్శ సెన్సింగ్ మరియు సామర్థ్యం

మానవ చేతులకున్న అద్భుతమైన స్పర్శ జ్ఞానం కారణంగా, అవి అనేక రకాల వస్తువులను సులభంగా పట్టుకోగలవు. ఈ-స్కిన్ రోబోట్‌లకు కూడా ఇదే సామర్థ్యాన్ని అందిస్తుంది.

- **వస్తువు గుర్తింపు మరియు మానిప్యులేషన్:** దాని "వేళ్ల కొనల" అంతటా ఒత్తిడి పంపిణీని విశ్లేషించడం ద్వారా, ఇ-స్కిన్ ఉన్న రోబోట్ ఒక వస్తువు యొక్క ఆకారం, ఆకృతి మరియు కఠినత్వాన్ని గుర్తించగలదు. ఇది సున్నితమైన వైన్ గ్లాస్ లేదా బరువైన సాధనాన్ని తడబడకుండా పట్టుకోవడానికి అవసరమైన ఖచ్చితమైన శక్తిని ప్రయోగించడానికి అనుమతిస్తుంది.

AI ఇంటిగ్రేషన్: పూర్తి-శరీర ఇ-స్కిన్ ద్వారా ఉత్పత్తి చేయబడిన భారీ మొత్తంలో డేటా కృత్రిమ మేధస్సుకు సరిగ్గా సరిపోతుంది. AI అల్గోరిథంలు ఈ స్పర్శ సమాచారాన్ని ప్రాసెస్ చేయగలవు, రోబోట్ దాని భౌతిక పరస్పర చర్యల నుండి మరియు నిరంతరం నేర్చుకోవడానికి వీలు కల్పిస్తుంది.

7.3 సాఫ్ట్ రోబోటిక్స్ పెరుగుదల దృఢమైన లోహంతో కాకుండా అనుకూలమైన పదార్థాలతో తయారు చేయబడిన మృదువైన రోబోటు స్వాభావికంగా సురక్షితమైనవి మరియు మరింత అనుకూలమైనవి. ఈ-స్కిన్ ఈ యంత్రాలకు సహజంగా సరిపోతుంది, ఇది రోబోట్ దాని స్వంత ఆకారాన్ని మరియు పర్యావరణంతో దాని పరస్పర చర్యను అనుభూతి చెందడానికి అనుమతించే పంపిణీ చేయబడిన ఇంద్రియ వ్యవస్థగా పనిచేస్తుంది. ఇది శస్త్రచికిత్స లేదా పెళుసైన లోతైన సముద్ర పర్యావరణ వ్యవస్థలను అన్వేషించడం వంటి సున్నితమైన పనులలో అనువర్తనాల కోసం కొత్త తరం రోబోట్లను అనుమతిస్తుంది.

8. సవాళ్లు మరియు పరిమితులు

గణనీయమైన పురోగతి ఉన్నప్పటికీ, కృత్రిమ చర్మ పరిశోధన అనేక సవాళ్లను ఎదుర్కొంటుంది :

- బయోమెడికల్ అనువర్తనాల్లో బయో కాంపాటిబిలిటీ మరియు రోగనిరోధక తిరస్కరణ. - దీర్ఘకాలిక మన్నిక మరియు హాస్ట్ కణజాలంతో ఏకీకరణ. - సహజ చర్మం యొక్క పూర్తి ఇంద్రియ మరియు రక్షణ విధులను ప్రతిబింబించే సంక్లిష్టత. - బయోఇంజనీర్డ్ మరియు ఎలక్ట్రానిక్ చర్మం యొక్క అధిక తయారీ ఖర్చులు. - క్లినికల్ అనువర్తనాల్లో నైతిక మరియు నియంత్రణ సవాళ్లు.

9. భవిష్యత్తు దిశలు

కృత్రిమ చర్మంపై భవిష్యత్ పరిశోధన ఈ దిశగా కదులుతోంది :

- వ్యక్తిగతీకరించిన వైద్యం కోసం స్టెమ్-సెల్-ఆధారిత మరియు జన్యు-సవరించిన కృత్రిమ చర్మం . - మెరుగైన వైద్యం కోసం ఇంటిగ్రేటెడ్ వాస్క్యులరైజేషన్తో 3D బయో ప్రింటెడ్ స్కిన్.
- ప్రొస్తేటిక్స్ మరియు రోబోటిక్స్ కోసం స్వీయ-స్వస్థపరిచే ఎలక్ట్రానిక్ స్కిన్. - స్మార్ట్ ప్రొస్తేటిక్స్ కోసం AI - ఆధారిత అడాప్టివ్ సెన్సింగ్ సిస్టమ్లు. - ఖర్చులను తగ్గించడానికి మరియు ప్రాప్యతను మెరుగుపరచడానికి పెద్ద-స్థాయి తయారీ పద్ధతులు.

ముగింపు

కృత్రిమ చర్మం ఆరోగ్య సంరక్షణ మరియు రోబోటిక్స్లో బహుళ విభాగ పురోగతిని సూచిస్తుంది. బయోమెడికల్ కృత్రిమ చర్మం గాయం నయం మరియు కణజాల పునరుత్పత్తిని మెరుగుపరుస్తుంది, ఎలక్ట్రానిక్ చర్మం ప్రోస్థెటిక్స్ మరియు రోబోట్లకు ఇంద్రియ సామర్థ్యాలను అందిస్తుంది. సవాళ్లు కొనసాగుతున్నప్పటికీ, నానోటెక్నాలజీ, AI మరియు టిష్యూ ఇంజనీరింగ్ యొక్క ఏకీకరణ అధునాతన కార్యాచరణతో తదుపరి తరం కృత్రిమ చర్మానికి మార్గం సుగమం చేస్తుంది, క్లినికల్ ప్రాక్టీస్ మరియు రోబోటిక్స్ రెండింటినీ పునర్నిర్మిస్తుంది.

సూచనలు

- [1] యన్నాస్, I V, బుర్క్, J F, గోర్డాన్, P L, హువాంగ్, C., & రూబెన్స్టెయిన్, R H (1980). కృత్రిమ చర్మం రూపకల్పన. భాగం I. ప్రాథమిక రూపకల్పన సూత్రాలు. జర్నల్ ఆఫ్ బయోమెడికల్ మెటీరియల్స్ రీసెర్చ్, 14(1), 65-81.
- [2] షెన్చెంకో, R V, జేమ్స్, S L, & జేమ్స్, S E (2010). చర్మ పునర్నిర్మాణం కోసం అందుబాటులో ఉన్న కణజాల-ఇంజనీరింగ్ చర్మ బయోకన్స్ట్రక్ట్ల సమీక్ష. జర్నల్ ఆఫ్ ది రాయల్ సొసైటీ ఇంటర్ఫేస్, 7(43), 229-258.
- [3] సోమేయ, T., బావో, Z., & మల్లియారన్, G G (2016). ప్లాస్టిక్ బయోఎలక్ట్రానిక్స్ పెరుగుదల. నేచర్, 540(7633), 379-385.
- [4] కిమ్, J., మరియు ఇతరులు. (2011). చర్మ ప్రొథెసిస్ కోసం సాగదీయగల సిలికాన్ నానోరిబ్బన్ ఎలక్ట్రానిక్స్. సైన్స్, 333(6044), 838-843.
- [5] డాగ్డెవిరెన్, C., మరియు ఇతరులు. (2014). గుండె, ఊపిరితిత్తులు మరియు డయాఫ్రాగమ్ యొక్క కదలికల నుండి కన్సార్వేట్ పైజోఎలెక్ట్రిక్ శక్తి సేకరణ మరియు నిల్వ. నేషనల్ అకాడమీ ఆఫ్ సైన్సెస్ యొక్క ప్రొసీడింగ్స్, 111(5), 1927-1932.
- [6] సమ్, ఎస్., మరియు ఇతరులు (2014). ధరించగలిగే ఆరోగ్య పర్యవేక్షణ కోసం అత్యంత సున్నితమైన మరియు సాగదీయగల గ్రాఫేన్ ఆధారిత సెన్సార్. నేచర్ నానోటెక్నాలజీ, 9(11), 888-895.
- [7] బావో, జెడ్., & టీ, B C -K . (2015). ధరించగలిగే మరియు రోబోటిక్ అప్లికేషన్ల కోసం మృదువైన, సాగదీయగల మరియు స్వీయ-స్వస్థత ఎలక్ట్రానిక్ మిశ్రమాలు. వార్షిక సమీక్ష ఆఫ్ మెటీరియల్స్ రీసెర్చ్, 45, 393-421.
- [8] కిమ్, డి.-హెచ్., మరియు ఇతరులు (2011). ఎపిడెర్మల్ ఎలక్ట్రానిక్స్. సైన్స్, 333(6044), 838-843.



[9] షెపర్డ్, RF , మరియు ఇతరులు (2011). మల్టీగైట్ సాఫ్ట్ రోబోట్. నేషనల్ అకాడమీ ఆఫ్ సైన్సెస్ ప్రొసీడింగ్స్ , 108(51), 20400-20403.

[10] వాంగ్, ఎస్., మరియు ఇతరులు. (2018). దృఢమైన, సాగదీయగల మరియు స్వీయ-స్వస్థత హైడ్రోజెల్స్ నుండి స్కిన్ ఎలక్ట్రానిక్స్. అడ్వాన్స్డ్ మెటీరియల్స్ , 30(20), 1706877.



Artificial Skin: Advances, Biomedical Applications, and Future Prospects in Robotics

Dr.S.Radharani¹, Dr.V,B Narasimha², B.Chandradeep³

¹Dept of Computer Science MJPTBCWRDC wargal, Siddipet ,Telangana-India

²Dept of CSE, Osmania University, Hyderabad,Telangana-India

³Dept of Robotics and AI, VNR VJIET

Dr.S.Radharani *: ramsmcaou@gmail.com

Dr.V.B.Narasimha*: ybnarasimha@gmail.com

B.Chandradeep*: b.chandradeepjhcssp@gmail.com

Abstract

Artificial skin has become a pivotal innovation in biomedical engineering, tissue engineering, and robotics. Designed to mimic the structure and functions of natural human skin, artificial skin plays a vital role in burn treatment, chronic wound healing, and surgical reconstruction. Advances in biomaterials, nanotechnology, and tissue engineering have enabled the development of bioengineered scaffolds and 3D bio printed skin substitutes. Beyond clinical applications, artificial electronic skin (e-skin) integrated with Nano sensors is transforming robotics and prosthetics, providing capabilities for tactile sensing, temperature detection, and real-time feedback. This paper reviews the evolution, materials, fabrication techniques, and applications of artificial skin, with a focus on biomedical and robotic domains. Challenges such as biocompatibility, immune rejection, and cost are discussed, along with future directions in stem-cell-based grafting and intelligent electronic skin for next-generation prosthetics and humanoid robots.

Keywords:

Artificial Skin, Tissue Engineering, Biomedical Engineering, Electronic Skin, Robotics, Nano materials, Prosthetics

1. Introduction

The skin is the largest organ of the human body, providing protection, sensory perception, and thermoregulation. Severe burns, chronic wounds, and traumatic injuries present major medical challenges, often requiring grafts or substitutes. Artificial skin has been developed as an alternative to auto grafts and allografts, offering effective wound coverage and promoting tissue regeneration. In parallel, advancements in robotics have led to the development of artificial electronic skin (e-skin), which replicates sensory capabilities for prosthetics and humanoid robots. This convergence of biomedical and engineering disciplines has made artificial skin a frontier of innovation.

2. Literature Survey

The concept of artificial skin dates back to the development of Integra® in the 1980s, which used collagen-glycosaminoglycan scaffolds for wound healing. Later, bioengineered products such as Apligraf® and Dermagraft® introduced living cell-based skin substitutes. Recent research focuses on nanomaterials, hydrogels, and stem-cell-based bioengineered grafts. In robotics, electronic skin has been explored using flexible nanomaterials and conductive polymers, enabling robots and prosthetics to sense touch, pressure, and temperature. Studies in Nature and IEEE journals highlight breakthroughs in flexible electronics, soft sensors, and biocompatible interfaces for artificial skin.

3. Materials for Artificial Skin

The choice of materials is fundamental to the performance of e-skin.¹⁰ These materials must provide a suitable substrate (the "skin") and the active sensing elements (the "nerves").

3.1. Substrate Materials

The substrate must be flexible, stretchable, and biocompatible.

- **Elastomers:** Polydimethylsiloxane (PDMS) and polyurethane (PU) are the most widely used materials due to their excellent elasticity, chemical inertness, and established biocompatibility.¹¹ They serve as a robust and flexible matrix for embedding electronic components.¹²

- **Hydrogels:** These are polymer networks swollen with water, making them mechanically similar to biological tissues. Their high water content and porous structure offer superior biocompatibility and ionic conductivity, which can be exploited for sensing. They are particularly promising for biomedical applications but can suffer from dehydration and lower mechanical robustness.

3.2. Active Sensing Materials

These materials transduce physical stimuli into electrical signals.¹³

- **Nanomaterials:** Carbon nanotubes (CNTs), graphene, and metal nanowires (e.g., silver nanowires, AgNWs) are commonly used. When integrated into an elastomeric matrix, their electrical properties change predictably under mechanical strain. For instance, the stretching of a CNT-polymer composite increases the distance between nanotubes, leading to a measurable change in resistance (piezoresistivity).
- **Conductive Polymers:** Materials like PEDOT:PSS (Poly(3,4-ethylenedioxythiophene) polystyrene sulfonate) offer inherent flexibility and conductivity, making them suitable for creating transparent and stretchable electrodes.
- **Ionic Conductors:** In ion-based e-skin, ions within a hydrogel or ionic liquid move in response to pressure, creating a change in capacitance or electrical potential that can be measured. This mechanism is particularly analogous to biological neural signaling.

4. Fabrication Techniques

Creating devices that are both high-performance and mechanically compliant requires innovative fabrication strategies.

- **Microfabrication:** Traditional photolithography and etching techniques, adapted from the semiconductor industry, are used to create highly precise sensor patterns on flexible substrates.¹⁴
- **Additive Manufacturing (3D Printing):** Techniques like direct ink writing (DIW) and stereolithography (SLA) allow for the rapid prototyping and fabrication of customized, complex 3D structures.¹⁵ This is particularly useful for printing multi-layered sensors directly onto curved surfaces, such as a prosthetic hand.
- **Solution-Based Processes:** Simple and scalable methods like spin coating, spray coating, and screen printing are used to deposit thin films of active materials over large areas, offering a cost-effective route to manufacturing.
- **Self-Assembly:** A bottom-up approach where molecules or nanoparticles are designed to spontaneously organize into desired structures. While still in early research stages, self-assembly promises a pathway to creating the kind of hierarchical complexity seen in natural skin.

5. Sensing Modalities

Modern e-skin can incorporate a variety of sensors to achieve multimodal perception.¹⁶

- **Piezoresistive Sensing:** The most common approach, where the electrical resistance of the material changes in response to mechanical deformation (strain, pressure).
- **Capacitive Sensing:** Consists of two conductive layers separated by a dielectric. Pressure compresses the dielectric, increasing capacitance. This method is highly sensitive to both static and dynamic forces.
- **Piezoelectric Sensing:** Certain materials (e.g., ZnO nanowires, PVDF polymer) generate an electrical voltage when subjected to mechanical stress.¹⁷ This is excellent for detecting dynamic events like vibration and texture.
- **Temperature Sensing:** Typically achieved by integrating materials whose resistance changes with temperature (thermistors) or by using thermoelectric effects where a voltage is produced across a temperature gradient.

6. Biomedical Applications: A New Era of Healthcare

Artificial skin is set to transform medical devices from passive tools into active, sensing platforms that integrate seamlessly with the human body.

6.1 Advanced Prosthetics with Sensory Feedback

Perhaps the most profound application of e-skin is in restoring the sense of touch for individuals with limb loss.

- **Closing the Loop:** E-skin covering a prosthetic hand can detect pressure, texture, and temperature. This information is converted into electrical signals that can be transmitted to the user's nervous system through implanted electrodes. This "sensory feedback" allows the user to feel what the prosthetic is touching, transforming it from a passive tool into a more natural extension of the body. This is crucial for tasks requiring dexterity, like distinguishing between a soft fruit and a hard object.
- **Reducing Phantom Limb Pain:** Studies have shown that providing realistic sensory feedback can help alleviate the phantom limb pain experienced by many amputees, improving their overall quality of life.

6.2 Smart Wearables and Wound Monitoring

- **Epidermal Electronics:** Ultra-thin, tattoo-like e-skin patches can adhere to the skin to continuously monitor vital signs like heart rate, respiration, temperature, and blood oxygen levels without cumbersome wires.
- **Smart Wound Dressings:** E-skin can be integrated into bandages to create smart dressings that monitor the healing process. Embedded sensors can track temperature (for signs of infection) or biochemical markers in wound fluid, providing doctors with real-time data and potentially triggering the release of medication directly to the wound site.

7. Future Prospects in Robotics

For robots to move from controlled industrial settings to dynamic human environments, a sophisticated sense of touch is not a luxury—it is a necessity.

7.1 Enhancing Human-Robot Interaction (HRI)

Safety is the biggest barrier to widespread adoption of collaborative robots. E-skin is the key to overcoming this. A robot covered in a full-body "skin" can instantly detect an unintended contact with a human, no matter how light. This allows the robot to stop or adjust its motion to prevent injury, making close collaboration possible in settings like manufacturing, logistics, and even elder care.

7.2 Advanced Tactile Sensing and Dexterity

Human hands can effortlessly pick up a wide variety of objects because of our exquisite sense of touch. E-skin provides robots with this same capability.

- **Object Recognition and Manipulation:** By analyzing pressure distribution across its "fingertips," a robot with e-skin can identify an object's shape, texture, and hardness. This allows it to apply the precise amount of force needed to grasp a delicate wine glass or a heavy tool without fumbling.

AI Integration: The massive amount of data generated by a full-body e-skin is a perfect match for Artificial Intelligence. AI algorithms can process this tactile information, allowing the robot to learn from its physical interactions and continually

7.3 The Rise of Soft Robotics

Soft robots, built from compliant materials rather than rigid metal, are inherently safer and more adaptable. E-skin is a natural fit for these machines, acting as a distributed sensory system that allows the robot to feel its own shape and its interaction with the environment. This will enable a new generation of robots for applications in delicate tasks like surgery or exploring fragile deep-sea ecosystems.

8. CHALLENGES AND LIMITATIONS

Despite significant progress, artificial skin research faces several challenges:

- Biocompatibility and immune rejection in biomedical applications.
- Long-term durability and integration with host tissue.
- Complexity of replicating full sensory and protective functions of natural skin.
- High manufacturing costs of bioengineered and electronic skin.
- Ethical and regulatory challenges in clinical applications.

9. FUTURE DIRECTIONS

Future research in artificial skin is moving toward:

- Stem-cell-based and gene-edited artificial skin for personalized medicine.
 - 3D bio printed skin with integrated vascularization for enhanced healing.
 - Self-healing electronic skin for prosthetics and robotics.
 - AI-driven adaptive sensing systems for smart prosthetics.
 - Large-scale manufacturing techniques to reduce costs and improve accessibility.
-

Conclusion

Artificial skin represents a multidisciplinary breakthrough in healthcare and robotics. Biomedical artificial skin enhances wound healing and tissue regeneration, while electronic skin provides sensory capabilities to prosthetics and robots. Although challenges persist, the integration of nanotechnology, AI, and tissue engineering will pave the way for next-generation artificial skin with advanced functionality, reshaping both clinical practice and robotics.

References

- [1] Yannas, I. V., Burke, J. F., Gordon, P. L., Huang, C., & Rubenstein, R. H. (1980). Design of an artificial skin. Part I. Basic design principles. *Journal of Biomedical Materials Research*, 14(1), 65-81.
- [2] Shevchenko, R. V., James, S. L., & James, S. E. (2010). A review of tissue-engineered skin bioconstructs available for skin reconstruction. *Journal of the Royal Society Interface*, 7(43), 229-258.
- [3] Someya, T., Bao, Z., & Malliaras, G. G. (2016). The rise of plastic bioelectronics. *Nature*, 540(7633), 379–385.
- [4] Kim, J., et al. (2011). Stretchable silicon nanoribbon electronics for skin prosthesis. *Science*, 333(6044), 838–843.
- [5] Dagdeviren, C., et al. (2014). Conformal piezoelectric energy harvesting and storage from motions of the heart, lung, and diaphragm. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(5), 1927–1932.
- [6] Some, S., et al. (2014). A highly sensitive and stretchable graphene-based sensor for wearable health monitoring. *Nature Nanotechnology*, 9(11), 888-895.
- [7] Bao, Z., & Tee, B. C.-K. (2015). Soft, stretchable, and self-healing electronic composites for wearable and robotic applications. *Annual Review of Materials Research*, 45, 393-421.
- [8] Kim, D.-H., et al. (2011). Epidermal electronics. *Science*, 333(6044), 838-843.
- [9] Shepherd, R. F., et al. (2011). Multigait soft robot. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(51), 20400-20403.
- [10] Wang, S., et al. (2018). Skin electronics from robust, stretchable, and self-healing hydrogels. *Advanced Materials*, 30(20), 1706877.