



Preoperatiiviset leikkausriskin arviointimenetelmät

Anestesiologin päivittäiseen työhön kuuluu potilaiden tietoihin perehtyminen ennen tulevaa leikkausta. Katsaus on kirjoitettu aamukokouksessa pidetyn esitelmän pohjalta, ja se kertoo preoperatiivisen arvioinnin perusteet ja nykysuosituksukset. Lopuksi esitellään preoperatiivisen arvioinnin tulevaisuutta.

Maailmalla tehdään noin 300 miljoonaa leikkausta vuosittain (1). Väestön ikääntyessä ja eliniän pidentyessä leikkaussalissa hoidetaan toinen toistaan iäkäämpiä ja sairaampia potilaita. Kirurgian tulee olla turvallista potilaalle iästä ja sairauksista riippumatta. Ammattilaisen eettinen velvollisuus on tehdä jokaisen potilaan leikkausriskeistä yksilöllinen arvio. Potilaalle sekä hänen omaisilleen on kerrottava leikkaukseen liittyvistä riskeistä siten, että heillä on realistinen käsitys tilanteesta ja he voivat mahdollisuuksien mukaan osallistua leikkauspäätöksen tekemiseen (2).

Miksi preoperatiivinen arviointi on tärkeää?

Huolellisella preoperatiivisella arvioinnilla voidaan saavuttaa kustannussäästöjä. Eri tutkimuksissa on arvioitu, että säästöjä voitaisiin saavuttaa sadoista tuhansista jopa miljooniin dollareihin asti (3). Hyvin tehty preoperatiivinen arviointi vähentää tutkitusti toimenpidepäivänä tapahtu-

via peruutuksia tuottaen säästöjä leikkaussalitoiminnan sujuessa suunnitellusti (4).

Arviointia tehdessä voidaan tunnistaa etukäteen potilaat, joilla erityisen hankalien postoperatiivisten komplikaatioiden riski on koholla. Komplikaatiot lisäävät sairaalassaolopäiviä (5), ja sitä kautta myös kuluja. ”Failure to rescue” eli kuolema on pahin postoperatiivisen komplikaation muoto. Sydänperäiset komplikaatiot ovat erityisen vaikeita, ja niihin liittyy enemmän kuolleisuutta kuin esimerkiksi postoperatiiviseen

sepsikseen, keuhkokuumeeseen tai munuaisten vajaatoimintaan (6). Riskipotilaat tulisi siis tunnistaa arviota tehtäessä. Lukuisten tutkimusten pohjalta tiedetään, että sydänperäisiin komplikaatioihin yhdistyviä riskitekijöitä ovat muun muassa korkea ikä (yli 85 vuotta), alipainoisuus, hengenahdistus levossa, septinen sokki ja levinnyt syöpä (7).

Milloin tarvitaan lisätutkimuksia?

Tavanomainen preoperatiivinen arviointi alkaa potilaan pitkäaikaissairauksien selvittämisellä.

>>

Kirurgian tulee olla turvallista potilaalle iästä ja sairauksista riippumatta.

Taulukko 1. Suositukset ProBNP:n mittaamisesta preoperatiivisesti

	CCS	AHA/ACC	ESAIC
Suositus	Kyllä, jos potilaalla on <ul style="list-style-type: none"> ▪ todettu sydän- ja verisuonisairaus ▪ ikä yli 65 vuotta ▪ RCI 1 tai enemmän 	Ei suosita	Kyllä <ul style="list-style-type: none"> ▪ postoperatiivisten komplikaatioiden ennustaminen

CCS= Canadian Cardiovascular Society
 AHA/ACC= American Heart Association/American College of Cardiology
 ESAIC= European Society of Anaesthesiology and Intensive Care
 RCI= Revised Cardiac Index

Taulukko 2. Revised Cardiac Index

Kohonneen riskin kirurgia <ul style="list-style-type: none"> ▪ intraperitoneaalinen ▪ intratorakalinen ▪ suprainguinaalinen verisuonikirurgia 	Ei (0 pistettä)	Kyllä (1 piste)
Iskeeminen sydänsairaus	Ei (0 pistettä)	Kyllä (1 piste)
Kongestiivinen sydämen vajaatoiminta	Ei (0 pistettä)	Kyllä (1 piste)
Aivoverenkiertohäiriötausta <ul style="list-style-type: none"> ▪ TIA ▪ Aivoinfarkti 	Ei (0 pistettä)	Kyllä (1 piste)
Insuliinihoito	Ei (0 pistettä)	Kyllä (1 piste)
Preoperatiivinen Krea-arvo koholla <ul style="list-style-type: none"> ▪ 2 mg/dl/176,8 umol/l 	Ei (0 pistettä)	Kyllä (1 piste)

Laskuri laskee pisteiden perusteella 30 päivän kuolemanriskin sekä sydäninfarktin ja sydänpysähdyksen riskit. Mukailtu CRI osoitteesta mdcalc.com

Taulukko 3. Suositukset TnT:n mittaamisesta preoperatiivisesti

	CCS	AHA/ACC	ESAIC
Suositus	Suuren riskin toimenpiteen jälkeen, mikäli preoperatiivisesti epäily riskistä saada sydäntapahtuma postoperatiivisesti	Ei suositella mitattavaksi oireettomilta potilailta	Suosittelee heikotasoisesta näytöstä huolimatta mahdollisten postoperatiivisten haittatapahtumien arvioinnin tueksi

Anestesiologi arvioi potilaan sairauksien hoitotasapainoa ja vaikeusastetta sekä sairauksien vaikutusta anestesiaan. Olennaista on tietää suunniteltavasta leikkauksesta, jotta voidaan valita kyseiselle potilaalle optimaalinen anestesiamuoto ja suunnitella postoperatiivinen jatkohoitopaikka. Usein sairauskertomuksesta ilmenee seikko-

ja, jotka herättävät kysymyksen preoperatiivisten lisätutkimusten tarpeesta. Seuraavaksi tarkastellaan, mitä lisätutkimuksia ohjeistusten mukaan tulisi pyytää ja milloin.

Sydän- ja verisuonisairaudet

European Society of Cardiology:n (ESC) vuoden 2022 suosituksen mukaan sydämen ultraääni-tutkimus tulisi tehdä, jos potilaalla todetaan uusi sydämen sivuääni aiheuttaen oireita (hengenhädistys ja/tai turvotus) ja proBNP:n kohoamisen. Lisäksi on vahvaa näyttöä, että sydämen ultraääni-tutkimus kannattaa tehdä potilaille, joiden suorituskyky on heikko ja proBNP koholla, tai jos läppävikaiselle potilaalle suunnitellaan korkean riskin kirurgiaa (8).

Vaikka proBNP mainitaan ESC:n suosituksessa monta kertaa, sen mittaamisesta ei ole olemassa yksiselitteistä ohjeistusta (Taulukko 1). Kanadalainen suositus ohjeistaa mittaamaan proBNP:n potilailta, joilla joko on todettu sydän- ja verisuonisairaus, Revised Cardiac Index (RCI) -riskilaskuri (Taulukko 2) antaa arvoksi > 1 tai mikäli potilas on yli 65-vuotias (9). American Heart Association/American College of Cardiology (AHA/ACC) puolestaan ei suosittele proBNP:tä mitattavaksi preoperatiivisesti, sillä biomarkkereihin perustuvien hoitostrategioiden ei ole osoitettu pienentävän kardiovaskulaaririskejä (10). European Society of Anaesthesiology and Intensive Care:n (ESAIC) vuoden 2023 suosituksen mukaan preoperatiivisesti mitattua proBNP-arvoa voitaisiin käyttää merkittävien postoperatiivisten komplikaatioiden, kuten 30 päivän merkittävien sydäntapahtumien ja 30 päivän kuolleisuuden, ennustamiseen. Tämän avulla potilasta voitaisiin osallistaa päätöksen-tekoon leikkauksen suhteen. (11)

ESC:n suosituksen mukaan EKG pitäisi tarkistaa ennen keskisuuren tai suuren riskin kirurgiaa sydänsairailta potilailta, joilla on sydänpäisiä oireita. Lisäksi heiltä tulisi tarkistaa TnT 24 tuntia ennen leikkausta sekä 48 tuntia leikkauksen jälkeen. Oireettomilta potilailta ei tule AHA/ACC:n mukaan pyytää TnT-arvoa preoperatiivisesti (10). Kanadassa suositellaan hiljaisen sydänlihaskemian tutkimiseksi TnT-arvon tarkastamista 48 tuntia suuren riskin toimenpiteen jälkeen, mikäli preoperatiivisessa arvioissa herää epäily kohonneesta riskistä saada sydäntapahtuma leikkauksen jälkeen. Riskin arvioimiseen voidaan käyttää esimerkiksi Revised Cardiac Indexiä (9). ESAIC:n mukaan

TnT:n voisi mitata preoperatiivisena rutiinina kaikilta oireettomiltakin potilailta, jolloin sitä voisi hyödyntää mahdollisten haittatapahtumien arvioinnissa. Näytönaste tästä on kuitenkin vain kohtalainen ja suosituksenaste heikko. Olennaisempaa olisi mitata TnT sekä pre- että postoperatiivisesti. (11) (Taulukko 3)

Keuhkosairaudet

Kirjallisuudessa ei ole selkeää konsensusta keuhkofunktio- ja spirometriatutkimusten suhteen. NICE-ohjeistus vuodelta 2016 suosittelee preoperatiivisia keuhkofunktio- ja spirometriatutkimuksia potilaille, joiden ASA-luokka on 3 tai 4 johtuen jo todetusta keuhkosairaudesta. Spirometriatutkimus ohjeistetaan yleensä teettämään suuren riskin potilaille ennen suuren riskin kirurgiaa. Suuren riskin potilaaksi määritellään hengenahdistusoireiset keuhkosairaajat sekä potilaat, joiden kohdalla herää epäily keuhkosairaudesta. Mikäli potilaan astman tiedetään olevan huonossa hoitotasapainossa tai keuhkohtaumatautiin (Chronic Obstructive Pulmonary Disease, COPD) liittyy toistuvia pahenemisvaiheita, tulisi teettää preoperatiivinen spirometria. Suuren riskin kirurgialla viitataan torakotomioihin ja keuhkoleikkauksiin. Jos potilaalla epäillään oireista keuhkosairautta tai suorituskyky on heikko eikä spirometriaa ole tehty, myös ylävatsaleikkaukset katsotaan tässä potilasjoukossa suuren riskin kirurgiaksi. (12)

Vuonna 2022 julkaistu prospektiivinen PREDICT-tutkimus antoi viitteitä siitä, ettei spirometria tuo COPD-potilaillakaan lisäarvoa preoperatiiviseen tutkimukseen. Tutkimuksessa verrattiin COPD-potilaita verrokkiryhmään, jossa COPD:ta ei ollut todettuna. Tutkimuksessa vertailtiin tavanomaista riskinarviota, COPD:n arviointimallia ja keuhkofunktio- ja spirometriatutkimusmallia. Tulosten perusteella ei COPD:n arviointimalli eivätkä puhalluskokeet tuoneet niin merkittävää lisähyötyä riskiarviointiin, että niitä tarvitsisi rutiininomaisesti tehdä. Olennaista sen sijaan on tiedostaa jo todettu COPD, jonka tiedetään olevan riskitekijä postoperatiivisille keuhkokomplikaatioille. Jos COPD todetaan vasta preoperatiivisissa tutkimuksissa, se ei näyttäisi lisäävän postoperatiivista komplikaatoriskiä. Tutkimuksessa todettiin, että COPD on alidiagnosoitu kirurgisilla potilailla. (13)

Diabetes

Diabeetikon preoperatiivisessa riskiarvioinnissa tulisi huomioida ESC:n ohjeistuksen mukaan sydänsairauksien mahdollisuus ennen keskisuuren tai suuren riskin kirurgiaa, sillä diabeteksen tiedetään olevan merkittävä sydän- ja verisuonisairauksien riskitekijä. Tutkimuksiin kuuluu EKG sekä laboratoriokokeet mukaan lukien proBNP, TnT ja Krea. Potilaan rasiituksensietokyky on selvitettävä. Lisäksi HbA1c tulisi määrittää, ellei sitä ole viimeisen kolmen kuukauden aikana tehty. Mikäli arvo on merkittävästi koholla, ESC:n mukaan yli 69 mmol/l, leikkausta tulisi siirtää tilanteen niin salliessa. (8)

Vanhukset

Ikäihmisten leikkausriskin arvioinnissa tulisi huomioida potilaan mahdollinen hauraus. Jos vanhus on kovin hauras, hänen toipumiskykynsä on alentunut ja siten postoperatiivisen kuolleisuuden sekä sydäninfarktin riskit ovat koholla (14). ESC:n mukaan yli 70-vuotiaille potilaille suositellaan haurauden systemaattista arviointia ennen keskisuuren tai suuren riskin kirurgiaa. Hyödyllistä on myös kysyä potilaan omaa arviota suorituskyvystään. (8)

Haurauden arviointiin on kehitetty yli 60 erilaista mittaria, joista jokaisella on omat vahvuutensa ja heikkoutensa (15). Haurauden mittaaminen toimii päätöksenteon tukena hoitavalle lääkärille ja antaa potilallekin realistisemmän kuvan omasta tilanteestaan. Mittaaminen tukee myös prehabilitaation aloittamista ennen kirurgista toimenpidettä (16).

Laskurit

Erilaisia leikkausriskin arviointilaskureita on kehitelty jo vuosikymmeniä eli aihe on kiinnittänyt huomiota pitkään. Laskureita on helposti saatavilla ilmaiseksi internetistä. Tässä esitellään kaksi laajalti käytettyä ja paljon tutkittua riskilaskuria.

ACS NSQIP-SRC

ACS-NSQIP (American College of Surgeons National Surgical Quality Improvement Program) Surgical Risk Calculator (SRC) (17) on amerikkalaisten kehittämä riskilaskuri, joka huomioi hyvin laajasti esitiedot potilaasta ja tulevasta

>>

Taulukko 4. ACS NSQIP Surgical Risk Calculator

Kyseessä oleva leikkaus	Valitaan listasta spesifi leikkaus
Onko muita soveltuvia hoitovaihtoehtoja?	Muu kirurginen toimenpide/ Muu ei-operatiivinen hoitovaihtoehto / Ei muuta hoitovaihtoehtoa kuin valittu leikkaus
Potilaan ikä	18–112 vuotta
Sukupuoli	Mies/Nainen
Toimintakyky	Itsenäinen/Tarvitsee jonkin verran apua/ Täysin riippuvainen muista
Hätätapaus	Ei/Kyllä
ASA-luokka	I-V
Kortisonin käyttö	Ei/Kyllä
Askitesta 30 edeltävän vuorokauden aikana	Ei/Kyllä
Sepsis 48 tuntia ennen toimenpidettä	Ei//SIRS/Sepsis/Septinen sokki
Riippuvainen ventilaattorista	Ei/Kyllä
Levinnyt syöpä	Ei/Kyllä
Diabetes	Ei/Tablettihoitoinen/Insuliini
Verenpainetauti	Ei/Kyllä
Kongestiivinen sydämen vajaatoiminta 30 edeltävän vuorokauden aikana ennen toimenpidettä	Ei/Kyllä
Hengenahdistus	Ei/Kohtuullisessa rasituksessa/Levossa
Tupakointi viimeisen vuoden aikana	Ei/Kyllä
Vaikea COPD	Ei/Kyllä
Dialyysi	Ei/Kyllä
Akuutti munuaisten vajaatoiminta	Ei/Kyllä
BMI-laskuri: Pituus ja paino	

Mukailtu osoitteesta <https://riskcalculator.facs.org/RiskCalculator/PatientInfo.jsp>

leikkauksesta. Laskuri huomioi vanhusten haurauden esittämällä alkutietojen syöttämisen jälkeen jatkokysymyksiä. Tietojen perusteella laskuri laskee prosentuaalisen todennäköisyyden juuri siihen toimenpiteeseen liittyviin komplikaatioihin sekä 30 päivän kuolleisuuden kyseisellä potilaalla verrattuna keskimääräiseen. Laskuri myös arvioi sairaalassaoloajan pituuden. ACS-NSQIP on validoitu useilla eri potilasryhmillä. (Taulukko 4)

Malli perustuu ACS SRC:n populaatioon, eli siitä eroavat toimenpiteet, potilaat, yksiköt ja

alueet heikentävät mallin toimivuutta (18). Malli ei välttämättä toimi kaikissa potilasryhmissä: esimerkiksi pään ja kaulan alueen syöpäpotilaiden leikkauriskistä se ei näyttäisi arvioivan oikein (19).

SORT

Surgical Outcome Risk Tool (SORT) -laskuri (20) on kehitetty Isossa-Britanniassa vuonna 2014. Se arvioi 30 päivän kuolleisuutta leikkauksen jälkeen. Mittarissa on kuusi parametria: ASA-luokka, potilaan ikä, toimenpidetyyppi (pieni/suuri), toimenpidekohde, aiempi syöpätausta ja leikkauksen kiireellisyys. Näiden riskitekijöiden pohjalta laskuri laskee prosentuaalisen kuolemanriskin. SORT on validoitu useille potilasryhmille, ja ruotsalaisen tutkimuksen perusteella se on toimiva mittari myös eurooppalaisessa populaatiossa (21,22). SORT on kuitenkin ACS-NSQIP:iin verrattuna suppea, sillä se arvioi ainoastaan kuolleisuutta eikä muiden komplikaatioiden riskiä.

Preoperatiivisen riskiarvioinnin tulevaisuus

JAMA julkaisi vuonna 2023 amerikkalaisten kehittämän koneoppimismallin, joka arvioi leikkaukseen liittyvien haittatapahtumien riskiä (23). Koneoppiminen on tekoälyn muoto, jossa tietokoneelle syötetään dataa, jonka pohjalta se oppii yhdistämään asioita. Tutkimuksessa koneoppimismalli luotiin 1,5 miljoonan potilaan tiedoilla retrospektiivisesti, minkä jälkeen mallia koulutettiin hieman yli miljoonalla potilaalla. Lopuksi noin 250 000 potilaalla testattiin mallin toimivuutta. Kun malli otettiin kliiniseen käyttöön, arvioitiin 206 000 potilasta preoperatiivisesti. Tärkein päätetapahtuma oli postoperatiivinen mortaliteetti sekä merkittävät sydän- ja aivotapahtumat 30 päivän kuluessa leikkauksesta. Koneoppimismalli tunnisti riskipotilaat paremmin kuin perinteinen ACS-NSQIP. Lisäksi koneoppimismalli tunnisti korkean iän olevan merkittävin riskitekijä 30 vuorokauden kuolleisuudelle ja matalan preoperatiivisen albumiinitason olevan riski sydän- ja aivotapahtumille. Matala magnesiumtaso oli riskitekijä molemmille haittatapahtumille.

Tämä tekoälyn perustuva malli on käytössä Pittsburghissa, jossa se on kehitettykin. Joka aamu tekoäly arvioi toimenpiteeseen tulevat potilaat viimeisimpiä tekstejä myöten ja antaa anestesiologille arvion potilaan leikkauriskistä. Ongelmana ovat puutteelliset tiedot, jotka saattavat vaikuttaa riskinarvioon merkittävästi. Muista

hoitolaitoksista saapuvien potilaiden tiedot eivät kaikilta osin ole koneoppimismallin käytössä. Seurantakin saattaa tapahtua jossakin muussa yksikössä, joten tietoja jää saamatta.

Muita tekoälyyn perustuvia tutkimuksia

Tekoälyä on käytetty myös anestesiainduktioon liittyvän verenpaineen laskun ennustamiseen. Malli pyrkii tunnistamaan potilaista saatavien tietojen perusteella ne, jotka ovat erityisesti riskissä verenpaineen laskulle. Tutkimuksessa havaittiin, että tekoäly kykeni löytämään sellaisia verenpaineen laskun riskitekijöitä, kuten tiettyjä lääkkeitä, joita anestesiologit eivät suoraan miellä verenpainetta laskeviksi. Tällaisia olivat esimerkiksi levotyroksiini ja bisfosfonaatit (24). Tekoälyä on hyödynnetty lisäksi yksilöllisen lääkityksen suunnitteluun sekä ulkokenttäanestesioiden potilasvalinnan tueksi (25,26).

Lopuksi

Jokaisesta potilaasta on tehtävä yksilöllinen riskiarvio ennen toimenpidettä. Huolellinen arviointi koostuu potilastietoihin perehtymisestä ja sen perusteella mahdollisesti pyydettyistä lisätutkimuksista. Riskiarviomittareita voi käyttää päätöksenteon tukena etenkin, kun potilaalla on useita riskitekijöitä ja suunnitteilla on keskisuur tai suuren riskin kirurginen toimenpide. Perusteellisen preoperatiivisen arvioinnin pohjalta on mahdollista informoida potilasta realistisesti leikkaurisista, jolloin potilas voi itsekin paremmin osallistua päätöksentekoon suunnitteilla olevien toimenpiteiden suhteen.

Tekoäly vaikuttaa olevan osa myös anestesiälääkäreiden tulevaisuutta. Se kykenee yhdistelemään asioita ja yhtäläisyyksiä eri tavalla kuin ihminen, joten se voi auttaa hoitamaan potilaita entistä yksilöllisemmin. ■

Viitteet

1. Weiser TG, Haynes AB, Molina G, Lipsitz SR, Esquivel MM, Uribe-Leitz T, ym. Estimate of the global volume of surgery in 2012: an assessment supporting improved health outcomes. *Lancet*. 2015;385:S11.
2. Kinnersley P, Phillips K, Savage K, Kelly MJ, Farrell E, Morgan B, ym. Interventions to promote informed consent for patients undergoing surgical and other invasive healthcare procedures. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. 2013(7):1–247.
3. García-Miguel FJ, Serrano-Aguilar PG, López-Bastida J. Preoperative assessment. *Lancet*. 2003;362(9397):1749–57.
4. Ferschi MB, Tung A, Sweitzer BJ, Huo D, Glick DB. Preoperative clinic visits reduce operating room cancellations and delays. *Anesthesiology*. 2005;103(4):855–9.
5. Healy GL, Stuart CM, Dyas AR, Bronsert MR, Meguid RA, Anioke T, ym. Association between postoperative complications and hospital length of stay: a large-scale observational study of 4,495,582 patients in the American College of Surgeons National

Surgical Quality Improvement Program (ACS-NSQIP) registry. *Patient Saf Surg*. 2024;18(1):29.

6. Ferraris VA, Bolanos M, Martin JT, Mahan A, Saha SP. Identification of patients with postoperative complications who are at risk for failure to rescue. *JAMA Surg*. 2014;149(11):1103–8.
7. Mazzarello S, McIsaac DI, Scott Beattie W, Fergusson DA, Lalu MM. Risk factors for failure to rescue in myocardial infarction after noncardiac surgery: a cohort study. *Anesthesiology*. 2020;133(1):96–108.
8. Halvorsen S, Mehilli J, Cassese S, Hall TS, Abdelhamid M, Barbato E, ym. 2022 ESC Guidelines on cardiovascular assessment and management of patients undergoing non-cardiac surgery. Vol. 43, *European Heart Journal*. Oxford University Press. 2022;38:26–924.
9. Duceppe E, Parlow J, MacDonald P, Lyons K, McMullen M, Srinathan S, ym. Canadian Cardiovascular Society Guidelines on Perioperative Cardiac Risk Assessment and Management for Patients Who Undergo Noncardiac Surgery. *Canadian Journal of Cardiology*. 2017;33(1):17–32.
10. Fleisher LA, Fleischmann KE, Auerbach AD, Barnason SA, Beckman JA, Bozkurt B, ym. 2014 ACC/AHA guideline on perioperative cardiovascular evaluation and management of patients undergoing noncardiac surgery: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on practice guidelines. *J Am Coll Cardiol*. 2014;64(22):e77–137.
11. Lurati Buse G, Bollen Pinto B, Abelha F, Abbott TEF, Ackland G, Afshari A, ym. ESAIC focused guideline for the use of cardiac biomarkers in perioperative risk evaluation. *Eur J Anaesthesiol*. 2023;40(12):888–927.
12. National Institute for Health and Care Excellence. Routine preoperative tests for elective surgery. [NICE Guideline NG 45]. 2016. <https://www.nice.org.uk/guidance/ng45>.
13. Dankert A, Neumann-Schirmbeck B, Dohrmann T, Greiwe G, Plümer L, Löser B, ym. Preoperative spirometry in patients with known or suspected chronic obstructive pulmonary disease undergoing major surgery: The Prospective Observational PREDICT Study. *Anesth Analg*. 2023;137(4):806–18.
14. Tov LS, Matot I. Frailty and anesthesia. *Curr Opin Anaesthesiol*. 2017;30(3):409–17.
15. Buta BJ, Walston JD, Godino JG, Park M, Kalyani RR, Xue QL, ym. Frailty assessment instruments: Systematic characterization of the uses and contexts of highly-cited instruments. *Ageing Res Rev*. 2016;26:53–61.
16. Norris CM, Close JCT. Prehabilitation for the Frailty Syndrome: Improving Outcomes for Our Most Vulnerable Patients. *Anesth Analg*. 2020;130(6):1524–33.
17. Bilimoria KY, Liu Y, Paruch JL, Zhou L, Kmiecik TE, Ko CY, ym. Development and evaluation of the universal ACS NSQIP surgical risk calculator: a decision aid and informed consent tool for patients and surgeons. *J Am Coll Surg*. 2013;217(5).
18. Liu JY, Sharma J. Application of the ACS NSQIP Surgical Risk Calculator on a global scale. *The American Journal of Surgery*. 2021;222(5):876.
19. Prasad KG, Nelson BG, Deig CR, Schneider AL, Moore MG. ACS NSQIP Risk Calculator: An Accurate Predictor of Complications in Major Head and Neck Surgery? *Otolaryngol Head Neck Surg*. 2016;155(5):740–2.
20. Protopapa KL, Simpson JC, Smith NCE, Moonesinghe SR. Development and validation of the Surgical Outcome Risk Tool (SORT). *Br J Surg*. 2014;101(13):1774.
21. Oakland K, Cosentino D, Cross T, Bucknall C, Dorudi S, Walker D. External validation of the Surgical Outcome Risk Tool (SORT) in 3305 abdominal surgery patients in the independent sector in the UK. *Perioperative Medicine*. 2021;10(1):4.
22. Semenas E, Helleberg J, Bartha E, Kalman S, Holm M. Surgical Outcome Risk Tool (SORT) to predict 30-day postoperative mortality in a mixed surgical population in Swedish tertiary hospitals. *Br J Surg*. 2023;110(5):584.
23. Mahajan A, Esper S, Oo TH, McKibben J, Garver M, Artman J, ym. Development and Validation of a Machine Learning Model to Identify Patients Before Surgery at High Risk for Postoperative Adverse Events. *JAMA Netw Open*. 2023;6(7):e2322285.
24. Kendale S, Kulkarni P, Rosenberg AD, Wang J. Supervised Machine-learning Predictive Analytics for Prediction of Postinduction Hypotension. *Anesthesiology*. 2018;129(4):675–88.
25. Vidhya KS, Sultana A, M NK, Rangareddy H. Artificial Intelligence's Impact on Drug Discovery and Development From Bench to Bedside. *Cureus*. 2023;15(10).
26. Pardo E, Le Cam E, Verdonk F. Artificial intelligence and nonoperating room anesthesia. *Curr Opin Anaesthesiol*. 2024;37(4):413–20.