

Робот мэс заслыг урологийн салбарт ашигласан түүх ба ирээдүйн чиг хандлага

Ганболд Г., Баян-Өндөр Д., Нямсүрэн Д.

Улсын нэгдүгээр төв эмнэлэг
*И-мэйл хаяг: ganbaa_444@yahoo.com

Abstract

The history of robot used in the urology and future trends

Ganbold G., Bayan-Undur D., Nyamsuren D.
First Clinical Hospital, Mongolia

However, the use of robots in medicine has only 30 years of history. The application of robots in surgery originates from the need of modern man to achieve two goals: the telepresence and the performance of repetitive and accurate tasks. The first “robot surgeon” used on a human patient was the PUMA 200 in 1985. In the 1990s, scientists developed the concept of “master–slave” robot, which consisted of a robot with remote manipulators controlled by a surgeon at a surgical workstation. Despite the lack of force and tactile feedback, technical advantages of robotic surgery, such as 3D vision, stable and magnified image, Endo Wrist instruments, physiologic tremor filtering, and motion scaling, have been considered fundamental to overcome many of the limitations of the laparoscopic surgery. Since the approval of the da Vinci robot by international agencies, American, European, and Asian surgeons have proved its factibility and safety for the performance of many different robot-assisted surgeries.

Comparative studies of robotic and laparoscopic surgical procedures in general surgery have shown similar results with regard to perioperative, oncological, and functional outcomes. However, higher costs and lack of haptic feedback represent the major limitations of current robotic technology to become the standard technique of minimally invasive surgery worldwide. Therefore, the future of robotic surgery involves cost reduction, development of new platforms and technologies, creation and validation of curriculum and virtual simulators, and conduction of randomized clinical trials to determine the best applications of robotics.

Key words: robot, robotic surgery, urology,

Pp. 70-79, Pictures 8, References 62

Робот системийн түүхэн хөгжил

Хүн төрөлхтөн сүүлийн 100 гаруй жилийн хугацаанд роботын талаар судалгаа шинжилгээ хийж, хүний өдөр тутмын амьдрал болон үйлдвэрт өргөнөөр ашигласаар байна. “Робот” хэмээх нэрийг анх 1921 онд Чехийн жүжгийн зохиолч Карел Капек “Rossum’s Universal Robots” бүтээлдээ ашигласан түүхтэй. Энэ нь Чех хэлний “robota” хэмээх үгнээс гаралтай. Robota хэмээх үг нь албадан ажил хийх, хүний ажлыг даган дуурайж хөдлөх гэсэн утгатай үг юм.

Анагаах ухааны салбарт сүүлийн 30 жилийн хугацаанд робот систем ашиглан мэс засал эмчилгээ хийж байна [1]. Орчин үед ашиглаж буй робот нь удирдлага болон ажиллах хэсгээс бүрдсэн бүрэн автомат төхөөрөмж юм. 1951 онд цацраг идэвхиттэй бодистой ажиллахад зориулалж алсын зайнаас удирддаг роботыг Raymond, Goertz нар зохион бүтээжээ. 1961 онд George Devol болон Joseph Engelberger нар машин үйлдвэрлэлд ашиглах зориулалттай роботыг зохион бүтээж Genral Motors компани ашиглаж эхэлсэн байна [2, 3]. Робот нэрийг 1920-1940 оны хугацаанд Karel Capek болон

Isaac Asimov нар ашиглаж байсан бөгөөд 1979 онд Америкийн Роботын Институт робот машины тодорхойлолтыг гаргасан бөгөөд эд анги нь олон төрлийн материалаар хийгдсэн, янз бүрийн даалгаврыг гүйцэтгэхэд зориулагдаж програмчлагдсан тусгай үйлдэл хийх төхөөрөмжийг робот гэж нэрлэжээ [4].



Зураг 1. PUMA 200 робот мэс заслын машин

Мэдрэлийн мэс заслын эмч нар 1985 онд PUMA-200 нэртэй робот ашиглан мэс засал хийсэн нь түүхэнд анх удаа тэмдэглэгдсэн (Зураг 1). Энэ робот үр дүнтэй байсан учир Лондон хотод хатан хааны коллеж 1988 онд эмчилгээнд ашиглаж эхэлсэн [5]. Робот түрүү булчирхай авахад туслах үүрэг гүйцэтгэж, бөөр шээсний замын эдийн шинжилгээ авах ажилбар хийж байсан мэдээ байна. 1990 оны эхээр Buess, Schurr нар ARTEMIS системийг ашиглан гахайн цөсний хүүдийг авах мэс заслыг хийжээ. Робот системийн гурван хэмжээст дуран нь мэс засалчийн ажлын талбайг харахад илүү сайжруулсан байсан (Зураг 2) бөгөөд патентыг 1997-2002 онуудад бүртгүүлж авсан ба хүний биед мэс засал хийгээгүй байна [6].



Зураг 2. ARTEMIS системийг ашиглан гахайн цөсний хүүдий авах мэс засал хийж буй байдал

AESOP

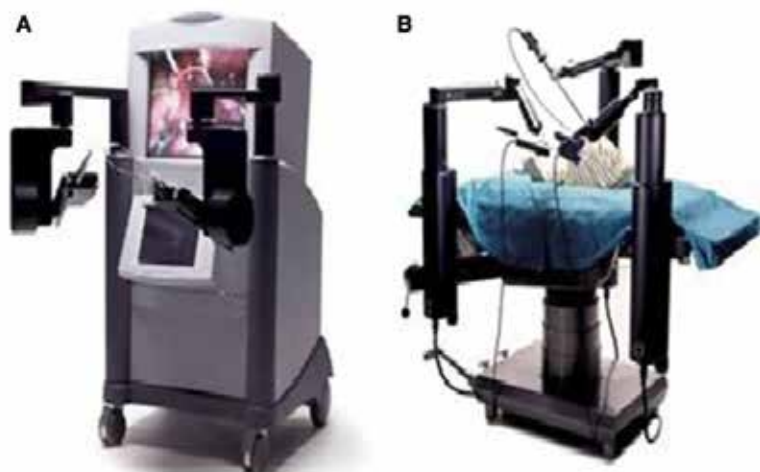
1993 онд компьютержсэн систем бүхий дурангийн роботыг судлаачид зохион бүтээсэн бөгөөд AESOP (Automated endoscopic system for optimal positioning) гэж нэрлэсэн ба мэс засал эмчилгээг хийж эхэлсэн. AESOP робот (зураг 3)-оор лапароскопийн мэс засал хийж үр дүнг нь хэвлэлд бичиж байжээ [7]. Энэ робот нь дуран барих туслах мэс засалчийн үүргийг гүйцэтгэж байсан бөгөөд дурангийн нягтрал 3D байв.



Зураг 3. AESOP системийн машин

ZEUS

Хүний гарын хөдөлгөөнийг дагаж хийх чадвар бүхий програмчлагдсан ZEUS нэртэй роботыг зохион бүтээсэн бөгөөд 1998 онд АНУ-ын Кливлендын эмнэлэгт умайн гуурсан хоолойг залгах мэс засалд ашигласан түүхтэй. Энэ машин нь дурангийн нэг гар, ажлын хоёр гартай бөгөөд 2D болон 3D дуран ашигладаг ба удирдлагын хэсэгт хүний гарын хоёр хуруугаар савх барихтай төстэй барилтаар роботын гарыг удирдахаар зохион бүтээсэн (Зураг 4). Үүнээс хойш ерөнхий мэс засал, зүрхний мэс засал, эмэгтэйчүүд, урологийн мэс засалд хэрэглэж, олон арван судалгаа хийсэн байна. 2003 онд ZEUS-н урт хугацааны төслийг албан ёсоор хэрэгжүүлэхийг зогсоосон юм. AESOP болон ZEUS системийг патентыг INTUITIVE Surgical компани 2004 онд худалдан авснаар энэ төсөл зогссон түүхтэй.



**Зураг 4. ZEUS робот систем А. Удирдах хэсэг,
В. Мэс заслын ширээн даар ажиллах ажлын хэсэг**

Da Vinci цуврал

АНУ-д 1980-аад оны сүүл 1990 оны эхээр NASA (National Aeronautics and Space Administration) алсын зайд тухайлбал сансарт болон дайны талбарт мэс заслын тусламж үйлчилгээ явуулах чадвартай роботыг зохион бүтээхээр төсөл хэрэгжүүлсэн[8,9]. Intuitive surgical Inc компани зохион бүтээсэн da Vinci нь өвчтөн дээр ажиллах дурангийн нэг гар, ажлын гурван гартай бөгөөд мэс заслын ширээн дээр ажиллах хэсэг, мэс засалч удирдах удирдлагын хэсэг, хяналт дүрслэл зохицуулах хэсэг гэсэн үндсэн 3 хэсгээс бүрдэнэ. Энэ мэс заслын робот нь өнөө үед хамгийн олон тархсан машин юм. АНУ, Япон, Европын улсууд хамгийн ихээр ашиглаж байгаа бөгөөд 54000 орчим машин дэлхийд ажиллаж байгаа мэдээ байна. Da Vinci тусламжтай цөсний хүүдий авах анхны мэс

заслыг 1997 онд Жак Химпенс нарын судлаачид Бельгийн Брюссель хотод хийсэн [10, 11]. Энэ мэс заслын дараа 1998 онд Герман улсын Лейпцигийн Их Сургуулийн эмч нар зүрхний мэс заслыг амжилттай хийжээ [12]. 2000 онд АНУ-д урологийн эмч нар түрүү булчирхайн хорт хавдартай тохиолдолд простатэктомийн мэс заслыг анх удаа хийснээс хойш 20 жил болж байна. Хөгжингүй орнуудад түрүү булчирхайн хот хавдартай тохиолдолд робот ашиглан хийх мэс засал эмчилгээгний тоо жил бүр нэмэгдсээр байна [13]. Да винчи нь 3D камертай, ажлын гурван гар нь хүний гарын хөдөлгөөнийг дагаж хөдлөх горимтой, дүрсийг 10 дахин томруулах хүчин чадалтай. Intuitive surgical Inc компани нь 2000 онд da Vinci S робот (зураг 5)-ыг зохион бүтээсэн бөгөөд энэ машиныг 2018 он хүртэл үйлдвэрлэж байсан.



Зураг 5. da Vinci S робот систем

2009 онд da Vinci Si системийг гаргасан бөгөөд өмнөх загвараас HD видео технологи, ногоон гэрлийн флюоресценц болон ажиллах гарыг улам

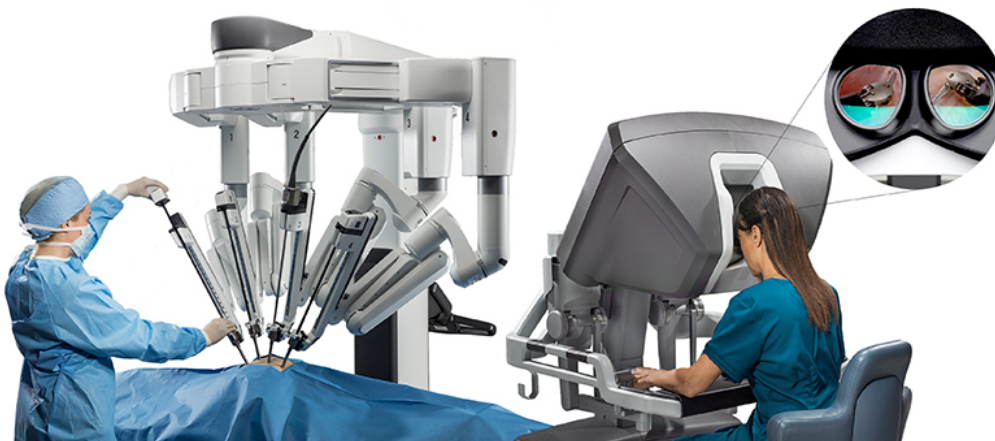
боловсронгуй, нарийн болгожээ. Мөн VeSPA системийг ашиглан ганц хүрцэт (single-port) мэс засал хийх боломжийг олгож өгчээ [14].



Зураг 6. da Vinci Si робот систем

2014 онд Intuitive surgical Inc компани da Vinci Xi робот (Зураг 7) системийг үйлдвэрлэн зах зээлд нийлүүлсэн бөгөөд урдны загвараас 8мм 3D HD

камер суурьлуулж, роботын гар нь мэс заслын ширээн дээр бүх байрлалд чөлөөтэй ажиллах боломжийг олгож өгчээ.



Зураг 7. da Vinci Xi робот систем

Орчин үед Да винчи олон төрлийн мэс засалд ашиглахаар үйдвэрлээд байгаа. Нэг хүрцэт Да винчи (Da Vinci Single-site) мэс засал нь нэг хүрцээр роботын 4 гар орж (Зураг 8) мэс заслыг хийдэг бөгөөд хамгийн боломжит жижиг хүрцэт мэс засал юм.

Сүүлийн 20 жилийн хугацаанд мэс заслын салбарт робот технологи өргөнөөр нэвтэрч байгаа бөгөөд тэдгээр нь өвчтөнд үүсэх өвдөлтийг багасгах, мэс заслын шарх бага үүсгэх, эмнэлэгт хэвтэх ор хоногийг багасгах, шархны эдгэрэлтийг богиносгох, хөдөлмөрийн

чадварыг богино хугацаанд сэргээхэд чиглэсэн эмчилгээний аргыг нэвтрүүлсээр байна [15]. Хэвлийн дуран болон робот систем ашиглан мэс засал хийх нь нээлттэй мэс засал хийх аргуудыг бүрэн орлож шинэ үр дүнтэй салбар болон хөгжиж байна. Хэвлийн дурангийн мэс засалд 2D дүрслэл, гарын хөдөлгөөн хязгаарлагдмал байдаг дутагдалтай. Энэ дутагдлыг робот 3D дүрслэл, гарын хөдөлгөөнийг чөлөөтэй болгон сул талыг арилгаж чадсан ба уг системийг ашиглахад хялбар болсон.



Зураг 8. da Vinci Single-site робот систем

Da Vinci робот систем нь мэс засалчийн удирдлагын хэсэг, өвчтөнд мэс засал хийх ажлын хэсэг, дүрс, дуу боловсруулах хэсэг гэсэн үндсэн 3 хэсгээс бүрдэнэ. Ажлын хэсэг нь 4 гараас бүрдэх бөгөөд нэг гарт нь камер, бусад 3 гарт мэс заслын багаж ашиглах зориулалттай. 2016 оны байдлаар 2500 гаруй да Винчи системийг ажиглаж байсан бөгөөд 500 мянга гаруй мэс заслыг хийгээд байсан байна [16].

Роботын тусламжтай түрүү булчирхай авах мэс засал

Түрүү булчирхайн хавдартай тохиолдолд хийх мэс засал эмчилгээг 1947 онд Т.Миллин умдаг ясны араар авах аргыг боловсруулсан нь алтан стандарт гэж тооцогддог байлаа [17,18]. Хэвлийн дуран 1980 оноос хойш мэс заслын салбарт нэвтэрч эхэлсэн бөгөөд 1992 онд анх түрүү булчирхай авах (prostatectomy) мэс заслыг Schuessler W нар эрдэмтэд хийсэн [19]. Хэвлийн дурангийн багажаар түрүү булчирхайг авахад аарцагт ажлын багажны ажиллах боломж хязгаарлагдмал, давсагт шээдэг сүвийг залгахад бэрхшээлтэй ба мэс заслын эмчийн ур чадвар шаардсан ажил байдаг. Робот мэс засал бага зайд ажиллах боломжийг олгохын зэрэгцээ 3D камер нь эдийн дүрслэл хийж, ялгах боломжийг олгох давуу талтай. Робот ашиглан түрүү булчирхай авах мэс заслыг 2000 онд Abbot нарын судлаачид хийсэн байна [20]. АНУ-д 2018 оны байдлаар түрүү булчирхайн хорт хавдрын мэс засал эмчилгээний 80% робот

ашиглан хийгдэж байна [21]. Түрүү булчирхайг робот ашиглан авах нь мэс заслын хугацаа хэвлийн дурангийн мэс заслаас богино байдаг нь давуу талуудын нэг юм. Робот ашиглан 45 тохиолдлыг дундчаар 4 цагийн хугацаанд мэс засал эмчилгээ хийж болох тухай судлаачид тэмдэглэсэн бөгөөд 8-12 тохиолдол хийсний дараа ур чадвар сайжирч хугацаа богиносдог байна [22]. Түрүү булчирхайг робот ашиглан авах мэс засал эмчилгээ нь дэлхий нийтэд түгээмэл хийгдэх эмчилгээ болон хөгжиж байгаа бөгөөд роботын давуу тал нь мэдрэл судасны багцын анатомийн байрлал, түүнийг ялгахад илүү тохиромжтой. Түрүү булчирхайг авах мэс засалд мэдрэл судасны багцны анатомийг 1982 онд Walsh нар тайлбарлан бичсэнээс хойш хагалгааны явцад мэдрэл судасны багцыг гэмтээхгүйгээр хамгаалж мэс засал хийх аргыг боловсруулсаар байна [23]. Мэдрэл судасны багц нь түрүү булчирхайн гэр хальсны урд хажуу талаар байрлаж гадна хуниас булчингийн үйл ажиллагааг зохицуулдаг бөгөөд үүнийг Афродитын хөшиг хэмээн нэрлэж байжээ [24]. Tewari нарын судлаачид түрүү булчирхайн хоёр хажуугаар байрлах хальсан дотор мэдрэл судасны багц байрлах бөгөөд простатэктомийн мэс засал хийхэд энэ багцыг ялгаж хийхийг зөвлөжээ. Мэдрэл судасны багцыг гэмтээхгүй ялгаснаар гадна хуниас булчингийн мэдрэлийн үйл ажиллагааг хамгаалах мэс заслын арга техник болсон байна [25]. Робот ашиглан түрүү булчирхайг авах мэс заслын хүрц нь хэвлийгээр

давсагны урдуур Retzius зайг болон Douglas (шулуун гэдэс давсаг) зайгаар ялгалт хийж түрүү булчирхайд мэс засал хийж байна. Энэ хүрц роботоор түрүү булчирхайд хүрэх хэмгийн боломжтой хүрц болсоор байгаа. Хэвлийн дурангийн мэс засалтай робот мэс заслыг харьцуулахад мэдрэл судасны багцыг ялгах, давсаг шээдэг сүвний залгалт хийхэд илүү хялбар, цус бага алдах давуу талтай. Судлаач Porpiglia F нар 120 тохиолдлыг хоёр бүлэг болгон судлаж үзэхэд роботын бүлэгт мэс заслын дараах хөдөлмөрийн чадвар илүү богино хугацаанд сэргэж байсан бөгөөд шээс задгайрах, давсагны хүзүүний нарийсал зэрэг хүндрэл бага байжээ [26].

Yaxley нарын судлаачид нээлттэй болон робот ашиглан түрүү булчирхай авсан 326 тохиолдолд хоёр бүлэг болгон судлаж үзэхэд, энэ хоёр бүлэгт ижил төстэй үр дүн гарсан боловч робот бүлэгт алдсан цусны хэмжээ бага, эмнэлэгт хэвтсэн ор хоног цөөн, шархны эдгэрэлт богино байжээ [27]. АНУ-д 2012 онд хийсэн судалгаагаар нэг жилийн хугацаанд түрүү булчирхай авах 20 мянган мэс засал хийсэн тохиолдлыг судлаж үзэхэд цус алдалт, ор хоног багассан боловч нас баралтын түвшин ижил байжээ. Европын Урологийн нийгэмлэгийн удирдамжинд түрүү булчирхайн авах мэс засал эмчилгээний алтан стандарт нь робот гэж тэмдэглэсэн [28].

Робот ашиглан түрүү булчирхай авах мэс заслын урт хугацааны хяналтын судалгаа сүүлийн 10 жилд хийгдэж байна. Түүнчлэн робот мэс заслын өртөг өндөр байдаг тул хөгжингүй орнуудад судалгаа хийгддэг бөгөөд хөгжиж буй орнуудад судалгаа харьцангуй цөөн хийгдэж байгаа бөгөөд мэс засал нь өртөг өндөртэй (6000\$) байсаар байна.

Роботоор хавдартай давсаг авах мэс засал

Давсагны булчин руу нивчсэн хоруу чанар өндөр хавдрын үед давсаг авах, аарцгийн тунгалгийн булчирхайг авах мэс засал хийнэ. Шээсийг гадагшлуулахын тулд гэдсээр хиймэл давсаг эсвэл шулуун гэдсэнд шээлгүүрийг залгах мэс засал хийнэ. Давсаг авах мэс заслыг хэвлийн дурангаар хийхэд нэлээд төвөгтэй ажилбар бөгөөд робот ашиглан хийх нь илүү хялбар байх ба эдийг ялгахад робот илүү давуу юм. Menon нар 2003 онд хавдартай давсгийг робот ашиглан авах мэс засал хийсэн тухай мэдээлснээс хойш Англи улсад нийт давсаг авах мэс заслын дөрөвний нэг хувийг роботоор хийж байгаа тухай 2016 онд мэдээлсэн байна [29, 30]. Судалгаагаар мэс заслын дараах

хүндрэл 19% хүртэл тохиолдож байсан бөгөөд 30-90 хоногийн дараа нас баралт 1.3-4.2% хүртэл тохиолдож, робот мэс заслын дараах 5 жилийн урт хугацааны судалгаагаар 67%-75% үр дүн байсан тухай бичжээ [31]. Түрүү булчирхайг робот ашиглан авах мэс засал 2005 онд 9% байсан бол 2016 оноос хойш 80% хүртэл хийгдэж байгаа тухай судлаачид бичсэн байна [32]. Нээлттэй мэс засалтай харьцуулахад робот ашиглан хийсэн мэс заслын дараа өвдөлт бага, ходоод гэдэсний хүндрэл цөөн, залгаасаар шээс хэвлийн хөндийд нэвчих зэрэг хүндрэл бага тохиолддог болохыг судалжээ [33]. Vchper нарын судлаачид 118 тохиолдлоос түүвэрлэн авч Клавиены ангиллаар хоёроос тавдугаар зэргийн хүндрэлтэй тохиолдол 62%-66%-д тохиолдож байжээ.

Давсгийг робот болон нээлттэй мэс заслаар авах эмчилгээний асуудал өнөө үед эрдэмтэн судлаачдын дунд маргаантай асуудал хэвээр байна. Робот систем өндөр үнэтэй, үүнээс улбаалан эмчилгээний өртөг өндөр байгаа нь хөгжиж буй оронд энэ технолог нэвтэрэхэд хүндрэлтэй байна.

Бөөрний хавдрыг роботоор тайрах мэс засал

Бөөрний хавдартай тохиолдолд хавдрыг бөөрний эрүүл эдийг оруулан тайрах мэс засал хийнэ [34]. Бөөрний хавдрыг тайрч авахад бөөрний судсанд хавчаар тавьж бөөрийг цусгүйжүүлэх (warm ischaemia time) хугацаа богино байх нь бөөрний үйл ажиллагаа хурдан сэргэхэд чухал юм. Нээлттэй аргаар бөөрний хавдар тайрах мэс засал нь бүсэлхийн хүрцээр том шарх үүсгэдэг тул мэс заслын дараах эмнэлэгт хэвтэх ор хоног, шархны эдгэрэлтийн хугацаа урт, хөдөлмөрийн чадвар удаан сэргэх зэрэг дутагдалтай талтай [35]. Бөөрний хавдрыг хэвлийн дурангаар тайрах мэс заслыг 1993 онд Winifield HN хийсэн тухайгаа хэвлэлд мэдээлсэн бөгөөд тухайн үедээ жижиг хүрц ашиглан хийснээр эмч нарын анхаарлыг татаж байжээ [36]. Хэвлийн дурангаар бөөр тайрах мэс заслын үед бөөрний артерийн судсанд хавчаар тавиад бөөрийг 15-20 минутанд тайрах ажилбар эмчийн ур чадвараас ихээхэн шалтгаалдаг байлаа. Gill нарын судлаачид 800 тохиолдолд бөөр тайрах мэс засал хийхэд эхний 500 тохиолдолд 32 минутанд бөөрийг тайрах мэс засал хийж байжээ. Нийт тохиолдлын 15% нь 20 минутанд бөөр тайрах мэс заслыг хэвлийн дурангаар хийсэн нь энэ мэс заслын ажилбар техникийн хувьд төвөгтэй болох нь харагдаж байна [37].

Бөөрний хавдрыг робот ашиглан тайрах мэс заслыг 2004 онд хийсэн бөгөөд судасны багцыг ялгах, хавчаар тавих, бөөрний эдийг тайрч нөхөн сэргээх оёдол тавихад хэвлийн дурангаас илүү хялбар байсан ба цусгүйжүүлэх хугацаа богино байсан тухайг судлаачид мэдээлсэн байна [38]. Англи улсад 2016 оны байдлаар нийт бөөрний хавдар тайрсан тохиолдлын 47%-г роботоор хийсэн мэдээ байна. 5000 орчим тохиолдлыг хамруулсан судалгаанд хэвлийн дуран болон робот мэс заслыг харьцуулж үзэхэд хэвлийн дурангийн үед цусгүйжүүлэх хугацаа роботоос урт байсан тухай судлаачид бичжээ [39]. Судлаачид роботоор бөөр тайрах мэс засал хийхэд цусгүйжүүлэх хугацаа хэвлийн дурангаас богино боловч өндөр өртөгтэй хийгддэг нь төдийлөн хүн бүрт хүртээмжтэй үйлчилгээ үзүүлэх боломжгүй байна гэжээ [40]. Робот мэс заслын өртөг өндөр байгаа боловч эмнэлэгт хэвтэх ор хоног богино, хөдөлмөрийн чадвар хурдан сэргэх зэрэг үзүүлэлт нь тухайн мэс заслын өндөр өртгийг нөхөх боломжтой гэж судлаачид тэмдэглэсээр байна.

Робот ашиглан уретерпиелопластик мэс засал

Тэвш-шээлгүүрийн нарийсал нь ихэнхдээ төрөлхийн бөгөөд 20 мянган төрөлтөнд нэг тохиолдоно [41]. Тэвш-шээлгүүрийн нарийслын мэс засал эмчилгээ нь олон жилийн турш нээлттэй мэс заслаар хийгддэг байсан бөгөөд 90% дээш үр дүнтэй байжээ [42]. Сүүлийн 30 жилийн хугацаанд жижиг хүрцэт мэс заслаар хийхийг чухалчлан үзэх болсон бөгөөд баллон ашиглан тэлэх, эндопиелотомийн мэс заслын үр дүнд 60% байна [43]. Хэвлийн дурангаар 1993 онд анх пиелопластик мэс заслыг хийсэн нь тухайн үед жижиг хүрцэт мэс засал байсан бөгөөд техникийн хувьд эмчийн ур чадвар ихээхэн шаарддаг мэс засал юм [44]. Гэсэн хэдий ч сүүлийн 15 жилд хэвлийн дурангийн мэс заслаар хийхийг илүүд үзэх болсон байна.

Тэвш-шээлгүүрийн хэсгийн нарийслыг робот ашиглан хийх нь залгалт хийх оёход илүү хялбар байдаг бөгөөд 2002 оноос хийж байна [45]. Робот ашиглан пиелопластик мэс засал нь нээлттэй мэс заслаас илүү урт хугацаа зарцуулдаг боловч өвдөлт болон шархны эдгэрэлт илүү богино зэргээр эерэг статистик үр дүнтэй байжээ [46].

Роботоор бөөр авах мэс засал

Сүүлийн 20 жилийн хугацаанд хэвлийн дурангаар бөөр авах мэс засал нэвтэрсэнтэй холбоотой нээлттэй мэс заслын тохиолдол цөөрсөөр байна. 1991 онд Clayman RV бусад

нөхдийн хамт хэвлийн дурангаар бөөрийг шээлгүүртэй авах мэс заслыг хийсэн тухайгаа хэвлэлд мэдээлсэн бөгөөд үүнээс хойш хэвлийн дурангаар бөөр авах мэс засал хийхэд алдсан цусны хэмжээ бага, шарх богино хугацаанд эдгэрдэг, хөдөлмөрийн чадвар богино хугацаанд сэргэх давуу талтай гэж судлаачид бичжээ [47, 48]. Нээлттэй мэс засалтай харьцуулахад хэвлийн дурангаар бөөр авах нь техникийн хувьд нилээд төвөгтэй.

Робот ашиглан бөөр авах мэс засал хийх нь өндөр өртөгтэй боловч мэс заслын техникийн хувьд хэвлийн дурангаас илүү хялбар байдаг тухай судлаачид бичсэн байна [49]. Хэвлийн дурангаар хийхэд төвөгтэй бөөрний хавдар, доод хөндийн венийн хавдрын тромботой тохиолдолд робот ашиглан хийх нь илүү үр дүнтэй байгаа тухай эрдэмтэд бичсэн байна [50]. Бөөрийг шээлгүүрийн хамт авах мэс заслыг роботоор хийхэд илүү хялбар байдаг тухай судлаачид бичжээ. Роботын дуран болон ажиллах гар нь шээлгүүрийг давсаг хүртэл ялгалт хийхэд илүү хялбар бөгөөд давсагны ханын давсаг-шээлгүүрийн хэсгийг авсны дараа үүссэн цонхыг оёх, тунгалгийн булчирхайг орчны эдээс ялгахад илүүтэй үр дүнтэй талаар судлаачид судалжээ [51]. Робот үйлдвэрлэгч болох INTUITIVE surgical.Inc компаниас гаргасан загвар болох da Vinci SP роботоор судлаач Lee Z нэг хүрцэт роботын порт ашиглан бөөрийг шээлгүүрийн хамт авах мэс заслыг хийсэн бөгөөд нэг хүрцээр робот ашиглан бөөр, шээлгүүрийг авч болох талаар бичсэн байна [52]. Робот ашиглан бөөр, шээлгүүрийг авах мэс заслыг хэвлийн дурантай харьцуулахад гарах хүндрэл харьцангуй бага тохиолддог болохыг судлаачид бичжээ [53].

Бусад мэс засал

Робот ашиглан түрүү булчирхайн томролтой өвчтөнд түрүү булчирхайг авах (simple prostatectomy) мэс заслыг 2008 онд Sotelo R нар хийсэн байна. Энэ мэс засал нь маш том хэмжээтэй түрүү булчирхайн хоргүй томролын үед хийхэд цус бага алдах, шархны зүслэг жижиг зэргээр нээлттэй мэс заслаас давуу байжээ [54].

Робот мэс заслын сургалт

Урологийн салбарт робот мэс заслын машин ашиглахын тулд хэвлийн дуран(лапароскопи)-гийн мэс заслыг чадварлаг хийж сурсан байх ёстойг олон судлаач эрдэмтэд бичиж байна. Жижиг хүрцэт мэс заслын үед гарах хүндэрлийг эмчлэхийн тулд нээлттэй мэс заслын арга барилыг сайн эзэмших хэрэгтэй. Робот мэс

заслыг хийж сурахын тулд орон зайн болон дүрслэлийн орчинд ажиллах туршлагыг мэс засалч эзэмшихийн тулд дадлага сургууль хийх нь чухал юм. Мэс засал хийхийн тулд тусгайлан бэлтгэсэн сургалтын загвар дээр дадлага хийж ур чадвараа сайжруулах хэрэгтэйг судлаачид бичжээ [55]. 2015 онд Англи болон Европын урологийн нийгэмлэг робот мэс заслын удирдамж гаргаж эмчилгээ үйлчилгээ явуулдаг болсон бөгөөд өөрсдийн сургалтын төвүүдэд сургалт хийж байна [56, 57]. Da Vinci дээр ажиллаж сурах сургалтын программ болох “da Vinci Skills Simulator” ашиглан сургалт хийнэ. Амьтан болон хүний цогцос дээр дадлага хийдэг боловч энэ нь өртөг өндөр байдаг тул түгээмэл хамрагддаггүй байна.

Ирээдүйн урологийн салбарт роботын гүйцэтгэх үүрэг

Урологийн салбарын мэс засал эмчилгээ сүүлийн 20 жилд da Vinci роботыг ашиглах үр дүнг нь судалсаар байгаа. INTUITIVE Surgical, Inc компани 1500 орчим патент эзэмшдэг бөгөөд сүүлийн үед da Vinci-тэй төстэй робот систем болох Telear ALF-X систем зохиогдож үйл ажиллагаагаа танилцуулж байна [58].

Робот машин хэтэрхий өндөр үнэтэй тул хөгжиж буй орнуудын эмчилгээнд нэвтрэхэд хүндрэлтэй байсаар байна. Иймээс ирээдүйд илүү олон робот үйлдвэрлэх компани бий болсноор da Vinci үйлдвэрлэгч компанитай өрсөлдөж үнийн хувьд хямдрах нөхцөл бүрдэх байх гэж судлаачид үзэж байна. INTUITIVE Surgical, Inc компани хамгийн сүүлд гаргасан загвар болох da Vinci SP буюу нэг хүрцэт робот системийг мэс заслын шинжлэх ухаанд нэвтрүүлсэн бөгөөд PubMed-д 670 гаруй судалгааны ажил хэвлэгдсэн [59]. Da Vinci SP роботоор бөөрний хавдар тайрах, тэвш-шээлгүүрийн хэсгийн нарийслыг нөхөн сэргээх мэс засал хийж байна [60].

Сүүлийн жилүүдэд олон робот төслүүд хэрэгжиж байгаа бөгөөд үүний нэг болох Raven project төслөөр Raven-II мэс засал хийх роботыг зохион бүтээж практикт нэвтрүүлэхээр эрдэмтэд ажиллаж байна. Энэ систем нь хоёр мэс засалч нэгэн зэрэг мэс засал хийж болох давуу талтай бөгөөд алсын зайнаас хагалгаа хийх бололцоог олгох болно гэж үйлдвэрлэгч нь мэдээлсэн [61].

Хүний оролцоогүй хэвлийн хөндийд мэс засал хийх ухаалаг робот болох Smart Tissue Autonomous Robot (STAR)-оор 2016 онд гахайн гэдсийг тайрч залгах мэс заслыг хүний оролцоогүй роботоор хийсэн тухай мэдээ байна. Энэ нь тусгайлан хүний мэс засал хийх

арга барилыг компьютерийн программын тусламжтай хадгалалт хийж мэс заслын үед эдийг тайрах түлэх, оёдол тавих зэргийг робот гүйцэтгэж хийдэг байна. Судас болон эдийг ялгаж таних гурван хэмжээст дүрс боловсруулж эдийг анатомийн ялгалт хийх чадвартайгаар зохион бүтээжээ [62]. Энэ шинэ технологийг ойрын 10 жилд эмчилгээнд нэвтрүүлэхээр төлөвлөж байгаа мэдээ байна. Мөн шээлгүүрийн уян дурангаар шээлгүүр дурандах роботыг ойрын хугацаанд эмнэлзүйд нэвтрүүлэхээр эрдэмтэд ажиллаж байна. Хөгжингүй оронд ирэх 15 жилд урологийн салбарт da Vinci робот машин нэвтэрч мэс заслын 90 дээш хувийг эзлэх хандлагатай байгааг INTUITIVE Surgical, Inc компани мэдээлсэн.

Дүгнэлт

Урологийн салбарт сүүлийн 20 жилийн хугацаанд робот систем мэс заслын үндсэн тоног төхөөрөмжийн нэг болсон. Урологийн мэс заслын практикт өргөнөөр хэрэглэгдэн стандарт болох магадлалтай хөгжиж (простатэктоми, partial nephrectomy) байна. Маргаантай асуудал нь түүний үнийн өртөг болон мэс заслын үед гарах зардал өндөр зэрэг нь хөгжил буурай орнуудын эмчилгээнд нэвтрүүлэхэд төвөг учруулж байгаа талаар эрдэмтэд шүүмжилж байна.

Ирээдүйд манай орны урологийн салбарт робот мэс засал нэвтрэх нь ойлгомжтой, тиймээс бид өнөөгийн нөхцөл байдалд тулгуурлан дурангийн мэс заслын арга технологийг хөгжүүлэх, сайжруулах шаардлага тулгарч байна.

Ном зүй

1. Tiago Leal Ghezzi, Oly Campos Corleta. 30 Years of Robotic Surgery. *World J Surg* 2016; 40:2552–2557.
2. Goertz RC (1952) Fundamentals of general purpose remote manipulators. *Nucleonics* 1001:36–42
3. Devol GC (1961) Programmed article transfer. US Patent 2988237, Washington, DC: US Patent Office
4. Hockstein NG, Gourtin CG, Faust RA. History of robots: from science fiction to surgical robotics. *J Robot Surg*. 2007; 1(2):113–118
5. Harris SJ, Arambula-Cosio F, Mei Q et al (1997) The Probot—an active robot for procedures. *Proc Inst Mech Eng H* 211:317–325
6. Schurr MO, Buess G, Neisius B, Voges U. Robotics and telemanipulation technologies for

- endoscopic surgery. A review of the ARTEMIS project. *Surg Endosc* 2000; 14: 375–81
7. Unger SW, Unger HM, Bass RT (1994) AESOP robotic arm. *Surg Endosc* 8:1131
 8. B. Satava RM. Robotics, telepresence and virtual reality: a critical analysis of the future of surgery. *Min Inv Therap* 1992; 1: 357–63
 9. Green PE, Piantanida TA, Hill JW et al. Telepresence: dexterous procedures in a virtual operating field. *Am Surg* 1991; 57: 192 (abstract)
 10. Hashizume M, Konishi K, Tsutsumi N et al (2002) A new era of robotic surgery assisted by a computer-enhanced surgical system. *Surgery* 131(1):S330–S333
 11. Himpens J, Leman G, Cadiere GB (1998) Telesurgical laparoscopic cholecystectomy. *Surg Endosc* 12(8):1091
 12. Hagen ME, Stein H, Curet MJ (2014) Introduction to the robotic system. In: Kim CH (ed) *Robotics in general surgery*. Springer, New York, pp 9–16
 13. Binder J, Kramer W (2001) Robotically-assisted laparoscopic radical prostatectomy. *BJU Int* 87(4):408–410
 14. Cestari A, Buffi NM, List G et al. Feasibility and preliminary clinical outcomes of robotic laparoendoscopic single-site (R-LESS) pyeloplasty using a new single-port platform. *Eur Urol* 2012; 62: 175–9
 15. Ishii H, Rai BP, Stolenzburg JU. Robotic or open radical cystectomy, which is safer? A systematic review and meta-analysis of comparative studies. *J Endourol* 2014; 10:1215– 1223
 16. Capek, Karel. Rossum's Universal Robotss.I. Aventinum; 1921.
 17. Ghezzi J, Corleta C. 30 years of robotic surgery. *World J Surg* 2016; 40: 2,550–2,557
 18. Millin T. Retropubic prostatectomy; a new extravesical technique; report of 20 cases. *Lancet* 1945; 2: 693–696
 19. Schuessler W, Kavoussi LR, Clayman RV. Laparoscopic radical prostatectomy: initial case report. *J Urol* 1992;147:246A
 20. Yates DR, Vaessen C, Roupret M. From Leonardo to da Vinci: the history of robot-assisted surgery in urology. *BJU Int* 2011;108:1708–1713.
 21. American Cancer Society: Key statistics for prostate cancer. 2018; <https://www.cancer.org/cancer/prostate-cancer/about/key-statistics.html>. Accessed September 25, 2018
 22. Ahlering TE, Skarecky D, Lee D. Successful transfer of open surgical skills to laparoscopic environment using a robotic interface: initial experience with laparoscopic radical prostatectomy. *J Urol* 2003; 170:1,738–1,741.
 23. Walsh PC, Donker PJ. Impotence following radical prostatectomy: insight into etiology and prevention. *J Urol* 1982; 128: 492–497.
 24. Kaul S. Robotic radical prostatectomy with preservation of the prostatic fascia: a feasibility study. *Urology* 2005; 66: 1,261–1,265.
 25. Tewari A, Grover S, Sooriakumaran P. Nerve sparing can preserve orgasmic function in most men after robotic-assisted laparoscopic radical prostatectomy. *BJU Int* 2012; 109: 596–202.
 26. Porpiglia F. Randomised controlled trial comparing laparoscopic and robot-assisted radical prostatectomy. *Eur Urol* 2013; 63: 606–614
 27. Yaxley JW. Robot-assisted laparoscopic prostatectomy vs open radical retropubic prostatectomy: early outcomes from a randomised controlled phase 3 study. *Lancet* 2016; 388: 1,057–1,066.
 28. Heidenreich A, Bellmunt J, Bolla M, Joniau S, Mason M, Matveev V, et al. EAU guidelines on prostate cancer. Part 1: screening, diagnosis, and treatment of clinically localised disease. *Eur Urol* 2011;59: 61-71
 29. Menon M. Nerve-sparing robot-assisted radical cystoprostatectomy and urinary diversion. *BJU Int* 2003; 92: 232–236.
 30. BAUS Section of Oncology. Analyses of Radical Cystectomies performed between January 1st and December 31st 2016. s.l.: British Association of Urological Surgeons; 2017.
 31. Johar RS. Complications after robot assisted radical cystectomy: results from the International Robotic Cystectomy Consortium. *Eur Urol* 2013; 64: 52–57.
 32. Hussein AA. Outcomes of intracorporeal urinary diversion after robot-assisted radical cystectomy: results from the international robotic cystectomy consortium. *J Urol* 2017 Dec 21. p: S0022–5347, pp. 78161–X
 33. Ahmed K. Analysis of intracorporeal compared with extracorporeal urinary diversion after robot-assisted radical cystectomy: results from

- the International Am 2016; 96: 615–636.
34. Ljungberg B, Bensalah K, Canfield S. EAU guidelines on renal cell carcinoma: 2014 update. *Eur Urol* 2015; 67: 913–924.
 35. Honda M. Robotic surgery in urology. *Asian J Endosc Surg* 2017; 10: 372–381.
 36. Winfield HN. Laparoscopic partial nephrectomy: initial case report for benign disease. *J Endourol* 1993; 7: 521–526.
 37. Gill IS. 800 Laparoscopic partial nephrectomies: a single surgeon series. *J Urol* 2010; 183: 34–41.
 38. Gettman MT. Robotic-assisted laparoscopic partial nephrectomy: technique and initial clinical experience with DaVinci robotic system. *Urology* 2004; 64: 914–8.
 39. Leow JJ. Outcomes of robotic vs laparoscopic partial nephrectomy: an updated meta analysis of 4,919 patients. *J Urol* 2016; 196: 1,371–1,377.
 40. Yu HY. Use, costs and comparative effectiveness of robotic assisted, laparoscopic and open urological surgery. *J Urol* 2012; 187: 1,392–1,398.
 41. Khosla A, Wagner AA. Robotic surgery of the kidney, bladder, and prostate. *Surg Clin N Am* 2016; 96: 615–636.
 42. Tripp BM, Homsy YL. Neonatal hydronephrosis the controversy and the management. *Pediatr Nephrol* 1995; 9: 503–509.
 43. Meretyk I, Meretyk S, Clayman RV. Endopyelotomy: comparison of ureteroscopic retrograde and antegrade percutaneous techniques. *J Urol* 1992; 148: 775–782
 44. Schuessler WW. Laparoscopic dismembered pyeloplasty. *J Urol* 1993; 150: 1,795–1,799.
 45. Gettman MT. Anderson-Hynes dismembered pyeloplasty performed using the da Vinci robotic system. *Urology* 2002; 60: 509–513.
 46. Garg M. Prospective randomized comparison of retroperitoneoscopic vs open pyeloplasty with minimal incision: subjective and objective assessment in adults. *Urology* 2014; 83: 335–339.
 47. Clayman RV, Kavoussi LR, Figenschau RS, Chandhoke PS, Albala DM. Laparoscopic nephroureterectomy: initial clinical case report. *J Laparoendosc Surg.* 1991;1(6):343–349.
 48. Dunn MD. Laparoscopic vs open radical nephrectomy: a 9-year experience. *J Urol* 2000; 164: 1,153–1,539.
 49. Yang DY. Does robotic assistance confer an economic benefit during laparoscopic radical nephrectomy? *J Urol* 2014; 192: 671–676.
 50. Abaza R, Ahmad Sh, Erik C. Multi-institutional experience with robotic nephrectomy with inferior vena cava tumor thrombectomy. *J Urol* 2016; 195: 865–871
 51. Autorino R, Zargar H, Kaouk JH. Robotic assisted laparoscopic surgery: recent advances in urology. *Fertil Steril* 2014; 102: 939–949.
 52. Lee Z. The technique of single stage pure robotic nephroureterectomy. *J Endourol* 2013; 27: 189–195.
 53. Stonier T. Laparoscopic vs robotic nephroureterectomy: Is it time to re-establish the standard? Evidence from a systematic review. *Arab J Urol* 2017; 15: 177–6.
 54. Sotelo R. Robotic simple prostatectomy. *J Urol* 2008; 179: 513–515
 55. Sridhar AN. Training in robotic surgery an overview. *Curr Urol Rep* 2017; 18: 58
 56. Ahmed K. Development of a standardized training curriculum for robotic surgery: a consensus statement from an international multidisciplinary group of experts. *BJU Int* 2015; 116: 93–101.
 57. Challacombe B. British Association of Urological Surgeons (BAUS) Robotic Surgery Curriculum – Guidelines for Training. s.l.: BAUS; 2015.
 58. Rassweiler JJ. Future of robotic surgery in urology. *BJU Int* 2017; 120: 822–841.
 59. Cestari A. Feasibility and preliminary clinical outcomes of robotic laparoendoscopic single-site (R-LESS) pyeloplasty using a new single port platform. *Eur Urol* 2012; 62: 175–179
 60. Komninos C. Robot-assisted laparoendoscopic single-site partial nephrectomy with the novel da Vinci singlesite platform: initial experience. *Korean J Urol* 2014; 55: 380–384
 61. Hannaford B. Raven-II: an open platform for surgical robotics research. *IEEE Trans Biomed Eng* 2013; 60: 954–959.
 62. Shademan A. Supervised autonomous robotic soft tissue surgery. *Sci Transl Med* 2016; 8: 337