

CYBERKNIFE

Szerző: Dr. Kovács Árpád

Lektorálta: Simon Mihály



© Dr. Kovács Árpád – 2021

A tankönyv az EFOP-3.4.3-16-2016-00005 Korszerű egyetem a modern városban: Értékközpontúság, nyitottság és befogadó szemlélet egy 21. századi felsőoktatási modellben pályázat támogatásával készült.

ISBN: 978-963-429-659-1

Kiadja: Pécsi Tudományegyetem Egészségtudományi Kar
Pécs, 2021.

Tartalomjegyzék

Cyberknife	4
Technikai sajátosságok	4
6D koponyakövető rendszer	6
Xsight gerinckövető rendszer	6
Xsight tüdőkövető rendszer	6
Synchrony légzésfigyelő rendszer	6
Fiducial marker követés	7
Kezelés tervezése	7
Kezelés kivitelezése	8
A CyberKnife klinikai alkalmazása	8
Agydaganatok	8
Akusztikus neuroma	9
Perioptikus elváltozások	9
Gerincdaganatok	9
Intrameduláris gerincvelő AVM-ek	9
Tüődaganatok.....	10
Hepatocellularis carcinoma (HCC) és májástétek	10
Hasnyálmirigyrák.....	10
Prosztata tumor.....	11
Fej-nyaki daganatok	11
Irodalomjegyzék	12

Cyberknife

A sztereotaktikus sugársebészeti (SRS: stereotaxic radiosurgery) módszer alapelveit az 1950-es években a svéd idegsebész, Lars Leksell professzor (1, 3) dolgozta ki. Az SRS beavatkozáshoz egy merev fejkeret rendszert alkalmazott a koponya immobilizálására és a kezelési koordináták meghatározására. A háromdimenziós térbe helyezett keretrendszer az intracranialis elváltozások milliméteres pontosságú kezelését tették lehetővé az ép szövetek megkímélése mellett. A rendszert Gamma Késnek nevezte el, mely hagyományosan 201 darab, félgömb mentén elhelyezett, középpontba centrált, szabályozottan működtethető kobalt 60 izotópot használ a sugársebészeti beavatkozásra úgy, hogy a sugárzó preparátumokból kiinduló sugárnyalábok a kezelés célpontjában összetalálkozva fejtik ki terápiás hatásukat (4). A célzó kerettel történő sztereotaxiás beavatkozásnak azonban számos korlátja van. A modalitás hátrányai közé tartozik, hogy az invazív keret felhelyezése a beteg számára nem túl komfortos, hogy a merev sztereotaktikus sisak nem alkalmas a frakcionált sugárkezelésre és a Gamma Kés új generációja (Leksell Gamma Knife Perfexion) is csupán a C. II. csigolya szintjéig képes az elváltozások kezelésére.

Dr. John R. Adler amerikai idegsebész megihlette egy keret nélküli sugársebészeti eszköz kifejlesztése, miután Leksell professzorral társult a stockholmi Karolinska Intézetben egy neurológiai

ösztöndíj alkalmával (2). Úgy vélte, hogy a keret nélküli célzás röntgenfelvétel-kép-korrelációval érhető el és hogy a képvezérelt sugársebészet kiküszöböli az invazív keret szükségességét. A betegek nagyobb kényelme mellett a keret nélküli rendszer a több napos frakcionált kezelést is lehetővé teszi, miközben megőrzi a sztereotaktikus pontosságot. Dr. John R. Adler által kifejlesztett CyberKnife (CK) is egy sztereotaktikus sugársebészeti eszköz, mely 1990-es évekre vált gyakorlatban is használható eszközzé a kisebb daganatok és specifikus betegségek kezelésének nem-sebészeti alternatívájaként (5,6). Az első prototípust eredetileg Neurotron 1000-nek hívták és 1991-ben telepítették a Stanfordi Egyetemi Orvosi Központjában. Az első beteget 1994. június 8-án kezelték agyi metastasisssal, majd több évig tartó klinikai kísérletek következtek. A CyberKnife-t az Egyesült Államok Élelmezési és Gyógyszerhatósága hagyta jóvá az intracranialis alkalmazásokhoz 1999-ben, majd a technológiai fejlesztéseknek köszönhetően 2001-ben engedélyt kapott az extracranialis léziók sugársebészeti kezelésére is a test bármely részén (7). Mivel az első CyberKnife kezdeti prototípus volt, a fejlesztéseknek köszönhetően azóta több egymást követő modellt készítettek azonban az alapkoncepció mindvégig változatlan maradt [11].

Technikai sajátosságok:

A robotkaron elhelyezett 6 MV-os lineáris gyorsító (LINAC) csúcstechnológiát képvisel. Míg a hagyományos gyorsító csupán egy síkban

képes mozogni a beteg körül, addig a CK 6 szabadsági fokú mozgástengellyel rendelkezik, így képes az elváltozás több irányból történő kezelésére mely által a leadott dózis jobban eloszlik az ép szövetekben. A CyberKnife kezelések során egy mozgékony robotkar segítségével a besugárzó fej a beteg körül gyakorlatilag szabadon mozoghat. Az eljárás a besugárzástervezés alatt meghatározott, általában 100-200, egyedileg kiválasztott és súlyozott besugárzási mezőt alkalmaz a megfelelő dóziseloszlás létrehozásához. Ez a rendszer az intracranialis kezelések során nem igényel invazív keretes rögzítést a beteg koponyájához a sztereotaktikus beállítás és ellenőrzés céljából elegendő a thermoplasztikus maszkos fixálás. A plafonra szerelt orthogonális röntgen verifikációs rendszer és a padlóba süllyesztett detektorok segítségével pedig más Linac-alapú rendszerektől eltérően milliméteres pontossággal képes az elváltozás helyzetének követésére [8]. A röntgen verifikációnak köszönhetően a kezelés alatt időközönként (60-120 sec) röntgenképek készülnek, melyek pozíció verifikáció és korrekciós lehetőséggel bírnak. Egy-egy kezelés alatt akár több száz ilyen alacsony dózisu verifikációs képpár készül, amelyeket a rendszer automatikusan összevet a referenciaképekkel (tervezési CT-ből digitálisan rekonstruált röntgenkép=DDR) és a legkisebb elmozdulás észlelése esetén automatikusan korrigálja a sugárnyaláb helyzetét. A valós idejű képalkotással elkerülhető az invazív rögzítés szükségessége az immobilizálásához vagy pozicionálásához (12). A légzésfigyelő rendszer használatával pedig

lehetővé válik a légzéssel mozgó daganatok valós idejű nyomon követése is (13).

A Cyberknife kezelőrendszere háromfajta másodlagos kollimátortípussal rendelkezik: 12 fix méretű kollimátor, egy változtatható nyílású kollimátor (Iris™) és egy multileaf kollimátor (InCise™). Ezen típusok az Xchange® kollimátorházban helyezkednek el, mely lehetővé teszi a felhasználó számára a kezelés során a megfelelő kollimátor automatikus kiválasztását a besugárzási terv alapján. A fix kollimátorok közül 12 darab áll rendelkezésre, melyek különböző méretűek. Átmérőjük 5-60 mm között változik, a forrás-tengely távolságuk pedig 80 cm (SAD), ezért neurológiai alkalmazásra a legmegfelelőbbek. A változtatható méretű kollimátor tulajdonságai tulajdonképpen megegyeznek a fix kollimátorok jellemzőivel, a rendszer a 12 fix kollimátorméret replikálására képes. Olyan kezelések során alkalmazandó, melyek esetében egy kollimátor méret nem elegendő a céltér fogat teljes besugárzására, ezáltal a 12 fix kollimátor paramétereit közül a megfelelőt könnyen be tudja állítani. A multileaf kollimátor (MLC) motorosan mozgatható mezőformáló rendszer, mellyel a kezelési mezőben tetszőlegesen betolható lemezekkel (leaf-ekkel) lehet a mezőformát kialakítani. Elsősorban nagyobb kiterjedésű, szabálytalan alakú daganatok kezelésére alkalmazható, mely használatával a kezelési idő nagyban lerövidíthető.

A képalkotó rendszer két plafonra erősített kV röntgenforrást és egy padlóba süllyesztett detektort használ a target pontos meghatározására és követésére a kezelés során. Működésének alapja, hogy a kezelés megkezdése előtt az elő

röntgenképeket összehasonlítják a DDR kezelési tervvel és ha eltérés van a két kép között, lehetőség van a megfelelő korrekcióra. A kezelés alatt készült verifikációs röntgenképek pedig lehetővé teszik a kisebb elmozdulások korrigálását, mely által a céltérfogat homogén lefedettségét érhetjük el. A CyberKnife rendszerében öt különböző követőrendszer található, melyeket a céltérfogat lokalizációjától és a kezelendő szerv jellemzőitől függően választanak ki.

6D koponyakövető rendszer lehetővé teszi a fej-nyaki léziók közvetlen, noninvazív követését a kezelés alatt a C. II. csigolya szintjéig. A rendszer a sztereotaktikus pontosságot invazív keret nélkül, thermoplasztikus maszk rögzítés segítségével biztosítja. A koponya helyzetének meghatározása a kezelés alatt az elő röntgenképek és a tervezési CT során készített DDR képekkel való összevetése és korrigálása alapján valósul meg (22, 23).

Xsight gerinckövető rendszer lehetővé teszi a gerinc vagy annak közelében lévő léziók kezelését műtétilag beültetett markerek nélkül. Felhasználható még olyan daganatok kezelésére is, melyek fixen más csontos struktúrához rögzülnek, mint például a combcsont, keresztcsont vagy a váll. A koponyakövető rendszerhez hasonlóan a képi regisztráció ebben az esetben is a nagy kontrasztú csontinformáción alapul. Főként csigolyatest és gerincvelő daganatok kezelésére alkalmazzák (22, 24–26).

Xsight tüdőkövető rendszer a tüdőben található lágyszöveti denzitású képletek követésére alkalmas beültethető markerek használata nélkül. A rendszer kiválóan alkalmas a tüdővel mozgó

daganatok sugársebészeti kezelésére. A kezelés alatt a páciens normális légzése mellett a CyberKnife robotkar nyomonköveti a daganat mozgását, ezáltal folyamatos, megszakítás nélküli kezelést tesz lehetővé. A léziók azonosítása a tüdőszövet és az elváltozás denzitásbeli különbsége alapján történik. Ez megköveteli, hogy a tumor denzitása megkülönböztethető legyen a röntgenképen látható többi szervtől. A góc láthatóságát elsősorban két tényező határozza meg: a mérete és a lokalizációja. Ha a tumor például kis méretű vagy olyan struktúrára vetül, mint a gerinc vagy a mediastinum sokkal nehezebbé válik a tüdőszövettől való elkülönítése. A nyomonkövető algoritmus a 15 mm-nél nagyobb átmérőjű daganatok esetében működik a legjobban, amelyek a perifériás és tüdőcsúcsi régiójában helyezkednek el. Több mint 100 beteg esetében végzett klinikai képadatok retrospektív elemzése arra utal, hogy az Xsight tüdőkövető rendszer alkalmas lehet a tüdődaganatos betegek valamivel, több mint 50% -ának kezelésére (27).

A **Synchrony légzésfigyelő rendszer** lehetővé teszi a légzéssel mozgó daganatok valós idejű nyomon követését (13). A légzéskövető besugárzás során a légzőmozgások okozta daganat elmozdulást a besugárzó fej valós időben követi, együtt mozog a légzéssel így minimalizálva a károsodó ép szövetek térfogatát. A légzőmozgás folyamatos követése a mellkasmozgásról informáló markerek valamint az markerek helyzetét monitorozó egység adatait összekapcsoló számítógépes algoritmus segítségével valósul meg. A dinamikus célkövetés javítja a sugárzás pontosságát és minimalizálja a kritikus szövetek besugárzását. Mivel a robotkar

folyamatosan követi és kompenzálja a légzőmozgásokat, kiküszöbölhetők a légzésvisszatartó vagy légzéskapuzási technikák alkalmazása.

Fiducial marker követés: Ez a módszer használatos olyan lágyszöveti célokra, amelyek nincsenek rögzítve sem a koponyához sem a gerinchez (például prosztatata, hasnyálmirigy, máj), beleértve azokat a tüdődaganatokat, amelyeknél az Xsight tüdőkövető módszer nem megfelelő. A kezelendő lézióba vagy annak közelében arany vagy acél markereket implantálnak, melyek ezáltal belső referenciapontként szolgálnak a kezelés során. A csontba ágyazottan rozsdamentes acélsavarakat alkalmaznak (2 x 5 mm) melyek optimális kontrasztot biztosítanak és a rögzítés által nem migrálnak. Az aranymagokat (0,8 x 5 mm) pedig általában lágyszöveti változások jelölésére alkalmazzák. A markereket gyakran perkután implantálják a célszervbe CT vagy más képvezérelt módszer alkalmazásával. Más elhelyezési módszert is lehet alkalmazni, a lézió lokalizációjától függően endoszkóppal vagy akár műtéti megközelítéssel is rögzíthetik a markereket a céltérfogatban. A tüdőbe történő implantációt pedig bronchoszkóposan is elvégezhetjük (22, 28, 29). Jellemzően 3-5 marker kerül beültetésre céltérfogatba. A besugárzástervezéshez szükséges CT-vizsgálatot minimum egy héttel a beültetés után végezzük, hogy a markerek pozíciói stabilizálódjanak. A markereket a CT tervezés során azonosítják, ezért azok helyzete ismert a DRR képeken. A képi regisztráció ezen ismert DRR pozíciók igazításán alapul a kezelési röntgenfelvételeken látott marker helyekhez (22, 30-31).

Kezelés tervezése:

A CyberKnife kezelés megtervezése több lépésben történik. Első lépésént a kezelni kívánt céltérfogatot és a védendő rizikószerveket kontúrozzák a CT vagy MR képek alapján. Ezt követően megadják a tumor ablációhoz szükséges sugárdózis mennyiségét, amelyet a környezetben lévő rizikószervek még tolerálnak. Ezután a kontúrozott képekből rendszer egy 3D-s modellt generál a tumorról, alapján a rendszer meghatározza a tér azon pontjait, ahol a robotkar megáll a besugárzás során. A speciális tervező szoftver segítségével klasszikus izocentrikus besugárzás mellett, – ún. nem-izocentrikus technikát alkalmazva – szabálytalan alakú vagy hosszúkas céltérfogat esetén is lehetséges a daganat kontúrját szorosan követő, vagyis az igen magas konformitású sugárkezelés. Ilyen, nem-izocentrikus kezeléssel az egyes keskeny nyalábok esetenként csak a daganat egy részét érik, azonban a besugárzássugártervező program gondoskodik arról, hogy ennek megfelelően kiegészítsék egymást, így nem lesznek sem túl-, sem aluldozírozott területek a céltérfogaton belül. Kezelés során a dózis eloszlását úgy határozzák meg, hogy megsemmisítsék a céltérfogatot, miközben minimalizálják a környezetében lévő egészséges szövetek sugárterhelését. A plafonra szerelt két diagnosztikai röntgenforrás és a padlóba süllyesztett digitális szilícium-detektorból álló rendszer folyamatosan monitorozza a beteg helyzetét a kezelés megkezdése előtt illetve alatt. Ez a megoldás teszi lehetővé, hogy a kezelés alatt a daganat (vagy a beteg) legkisebb elmozdulását is

korrigálja, ezáltal minimalizálható a magas dózissal érintett egészséges szövet térfogata.

Kezelés kivitelezése:

A kezelés során a sugárbeállítások a 3D-s betegmodellből létrehozott, digitálisan rekonstruált röntgenfelvételek (DRR) automatikus regisztrálásán alapul, a kezelőhelyiségben az előállított élő röntgenképek felhasználásával. Ennek eredményeként minden élő röntgenképnek megvan a digitálisan rekonstruált párja, amelyeket egyesítünk és geometriai visszavetítés útján 3D-s képpé egyesítünk. Minden kezelés elején a röntgenképes irányító rendszer alapján pozicionálják a beteget egy állítható kezelőasztal segítségével (22). A RoboCouch® betegpozicionáló rendszer a páciens automatikusan a tervezett kezelési pozícióba igazítja, mellyel nem csak nagyobb pontosság érhető el, hanem a betegellátás folyamatát is leegyszerűsíti. Ezen beállítások után a képvezérlő rendszer segítségével meghatározzák a pontos kezelési koordinátákat, mely alapján a robotkar elvégzi a szükséges korrekciót. A korrekcióhoz nem az asztalt mozgatja, hanem a robotkart, mely nagyban növeli a beteg komfortérzetét. A céltérfogat lokalizálása az élő röntgenfelvételek alapján folyamatos a kezelés alatt. Ezen képek alapján a robotkar a kisebb korrekciókat a kezelés megszakítása nélkül elvégzi, azonban a nagy elmozdulások és forgások automatikusan szüneteltetik a kezelést, és a rendszer felszólítja a kezelőt, hogy a továbblépés előtt pozicionálja a beteget. A re-pozicionálás automatikusan elvégezhető a RoboCouch rendszer használatával kivéve a kezelőasztal hajlásszögének beállítását. A

leadott dózisek pontosságát a kezelési frakciók során a folyamatos képkövetés és korrekció biztosítja, ezáltal nincs szükség invazív sztereotaktikus keret használatára. A kezelés alatt a robot meghatározott sorrendben mozog a kezelés tervezése során kiválasztott mezők alapján (22). Ezenkívül a robotkar tartalmaz még egy érzékelőt is, mely azonnal aktiválódik és leállítja a kezelést, ha az bármilyen felülettel érintkezik a besugárzás során.

A CyberKnife klinikai alkalmazása:

Agydaganatok:

A CyberKnifet az intracranialis léziók széles spektrumának kezelésére használják. Mivel a sztereotaktikus beavatkozáshoz nem szükséges invazív fejkeret felhelyezése, mód van a frakcionált sugárkezelésre is, amely bizonyos elváltozás kezelése során -mint a nagyobb méretű agyi metastasisok, koponyaalapi daganatok, akusztikus neurinómák- javítja a klinikai eredményeket és csökkenti a szövődmények és mellékhatások kialakulását (75). Ezzel ellentétben a kisebb méretű, agyi metastasisokat klinikai tapasztalatok alapján a jobb lokális tumorkontroll elérése érdekében egyetlen ablatív sugárzósissal kell kezelni. Ilyen esetekben a Gamma Kés a választandó modalitás, mivel a merev keretrendszer alkalmazásával nagyobb pontosság érhető el, mint az optikailag állított CyberKnife rendszer esetén.

Chang és mtsai közzétette a Stanford CyberKnife korai tapasztalatait az agyi metastasisokkal kapcsolatban. Hetvenkét beteget kezeltek 84 lézióval, mindegyik esetben egyetlen, 10–36 Gy

dózist alkalmazva. A többi típusú sugársebészeti módszerrel összehasonlítva a tumorkontroll aránya 95% volt, és a sugárzás mellékhatását pedig csupán 4%-os előfordulással figyelték meg. (76).

Akusztikus neuroma:

Kezdetben az akusztikus neurinoma kezelése nyílt koponyaműtéttel történt. A beavatkozás magas kockázata miatt később, a technika fejlődésével már microsebészeti beavatkozásokat végeztek a daganat eltávolítására. A sztereotaktikus sugársebészet megjelenése azonban hatékony és biztonságos kezelési alternatívát jelentett. A CyberKnife eszköz nagyon pontos célzást tesz lehetővé, mely alkalmazása során nem szükséges az invazív fejkeret használata, így lehetővé válik a fracionált sugárkezelés is. A kisebb adagokban történő, többszöri besugárzással kevesebb mellékhatással kell számolni, illetve az idegek jobb megkímélése miatt a kezelést követő halláscsökkenés és minimalizálható.

Perioptikus elváltozások:

Számos daganat fordul elő az látóideg elülső részének közvetlen közelében, melyek a hagyományos műtéti technikák alkalmazásával nem rezekálhatók. Az ilyen léziók számos hypophysis adenómát, meningiómát, craniopharyngiómát és rosszindulatú koponyaalapú daganatot foglalnak magukban. Noha az egyfrakciós sugársebészet már bevált az ilyen daganatok kezelésében, az opticus rostok és a chiasma sugárérzékenysége megakadályozza

azoknak a lézióknak a kezelését, amelyek közvetlenül az elülső látóideggel szomszédosak vagy akörül helyezkednek el. Tanulmányok alapján a CyberKnife alkalmazásával a látási funkciók megőrzése mellett jó lokális tumorkontroll érhető el, az optikus rostok közelében elhelyezkedő daganatok esetében is. (77, 78, 97).

Gerincdaganatok:

A metastatikus gerincdaganatok sok beteg életét nehezítik meg, jelentős fájdalmat és neurológiai defektust okozva. A spinalis daganatok műtéti kezelése jelentős kockázatot jelent, valamint az anatómiai elhelyezkedésük miatt legtöbbször inoperábilisak, mindemellett a gerincvelő sugárérzékenysége miatt a sugárterápiás lehetőségek is korlátozottak. A CyberKnife rendszere azonban lehetővé teszi irresecabilis, vagy egyéb módon rosszul kezelhető léziók ellátását is. A keret nélküli célzórendszer noninvazív kezelést tesz lehetővé, mely jobb lokális tumorkontrollt eredményez minimális mellékhatások mellett.

Intrameduláris gerincvelő AVM-ek:

Az intrameduláris gerincvelő AVM-ek (SCAVM) nagy kockázatú léziók, amelyek a gerincvelő parenchymáján belüli elhelyezkedésük miatt ritkán alkalmasak a hagyományos endovaszkuláris embolizációra és a mikrosebészeti rezekcióra. Mivel a legtöbb AVM-es betegnél kevés a kezelési lehetőség, a gerinc-sugársebészet fontos új terápiás eszköznek bizonyult. A CyberKnife submilliméteres pontossága lehetővé teszi a magas biológiai dózisok biztonságos alkalmazását a

gerincvelő sugárterhelésének minimalizálása mellett. Az intramedulláris léziók kezelésében a sugársebészet hatékony és biztonságos alternatívát jelent a hagyományos sugárkezelésekhez képest. Az SRS technikák a képvezérelt rendszerek fokozatos fejlődése miatt biztonságos és hatékony sugárterápiát biztosítanak.

Tüdődaganatok:

A primer tüdődaganatok sebészi kezelése csak abban az esetben jöhet szóba, ha a műtét kuratív céllal történik. Ez függ a daganat nagyságától, elhelyezkedésétől és a beteg általános állapotától is. Nem végezhető kuratív műtét, ha a daganat a mellkason belül létfontosságú szerveket infiltrál vagy ha már megjelent regionális vagy távoli áttét. A tüdődaganat hagyományos sugárkezelése során a tumor melletti rizikószervek károsodhatnak, ami határt szab a leadható sugármennyiségnek. Ugyancsak problémát jelent a tumormozgások melletti elmozdulások leírása és monitorozása. A CyberKnife alkalmazása során a pontosság kritikus jelentőségű, mely egyedivé teszi ezt a rendszert. A képvezérelt robotikus besugárzás mellett használt légzésmonitorozó technológia lehetővé teszi, hogy automatikusan és folyamatosan nyomonkövesse valamint szinkronizálja a daganat besugárzását a kezelés alatt a légzés vezérlése nélkül. A rendszer olyan kihívást jelentő anatómiai lokalizációban is alkalmazható, mint az érzékeny struktúrákkal körbevett centrális tüdődaganatok kezelése. A CyberKnife a tüdődaganatok széles skálájának kezelése során alkalmazható, beleértve a tüdőmetastasisokat is.

Hepatocellularis carcinoma (HCC) és májáltétek:

A HCC kezelésére jelenleg számos módszert alkalmaznak, ideértve a transarterialis kemoembolizációt, a műtéti reszekciót, a rádiófrekvenciás ablációt, a radioizotópos injekciót, a kémiai ablációt és a sugárterápiát. Azonban ezek egyike sem vált általános gyakorlattá. Mivel a CyberKnife sugársebészet kevésbé invazív az említett beavatkozásokhoz képest, potenciálisan vonzóbb lehetőség az ilyen daganatok ellátása esetén. A mozgásszinkronizációs technológia lehetővé teszi a kezelés során a daganat folyamatos monitorozását, mellyel egyidejűleg a robotkar is mozog, így terápiás dózis pontosan a mozgó célponthoz igazodik. Sugársebészeti beavatkozással olyan daganatok is kezelhetők, melyek műtéti eltávolítása nem lehetséges, vagy a daganat mérete, lokalizációja miatt, vagy a beteg rossz általános állapota okán. A CyberKnife lehetővé teszi a daganatos szövetek elpusztítását az egészséges májszövetek megkímélése mellett.

Hasnyálmirigyrák:

A pancreas carcinoma továbbra is az egyik legrosszabb prognózisú daganat. Kezelése során a sebészi megoldás adhat lényegesebb javulást a túlélés tekintetében, azonban az összes lokalizációt tekintve a resecabilitási ráta 25% alatt van. A pancreastumorok hagyományos sugárkezelésében a környező rizikószervek (vesék, vékonybelek, máj) toleranciadózisa miatt csak korlátozott eredmények érhetőek el. SRS sugárkezelés alkalmazása során azonban nagyon pontos dózisleadás lehetséges a normál szövetek maximális megkímélése mellett. A hasnyálmirigy

daganatok esetén is, mint más hasi tumoroknál légzésfigyelő rendszer alkalmazása mellett történik a kezelés, így a tumor mozgását egy beültetett marker segítségével valós idejű helymeghatározás által definiálni lehet.

Prosztata tumor:

A prosztatarák a második leggyakoribb rosszindulatú daganat a férfiak körében. Leggyakrabban szervre lokalizáltan kerül felfedezésre így a kezelési lehetőségei elsősorban a radikális prosztatektómia, külső sugárkezelés és a közelterápia. Sugárterápia esetén a prosztata daganat-sejtek a nagyobb dózisteljesítményre, illetve a rövidebb idő alatt leadott nagyobb dózisokra érzékenyebbek. Vagyis a hagyományos frakcionálási sémákkal ellentétben a hypofrakcionált sugárkezelés sokkal hatásosabbnak bizonyult a klinikailag szervre lokalizált prosztata daganatok esetén. A sugárbiológiai előnyökön túl, sztereotaktikus sugársebészet végzésekor a teljes kezelési idő megrövidül és a mellékhatások is csökkennek. Ez sugárbiológiai következmény, előny, a daganatsejtek és az ép sejtek sugárbiológiai szenzitivitása miatt (ép szövet $\alpha/\beta = 3$ Gy, prosztata daganatsejt $\alpha/\beta \approx 2$ Gy) a közölt biológiai dózis kisebb az ép szövetekre, mint a daganatos sejtekre, így a mellékhatások nem alakulnak ki. SRS során a képvezérelt sugárkezeléshez a prosztata állományába ültetett aranymarkereket segítségével valósul meg.

Fej-nyaki daganatok:

A fej-nyaki daganatok kezelése multimodális, a sebészi megoldásnak, kemoterápiának és a

sugárterápiának illetve ezek kombinációjának is fontos szerepe van. Habár sok esetben teljes remisszió érhető el, nem ritka, hogy a betegség lokálisan kiújul. A jelenlegi lokoregionális sikertelenég aránya csak a sugárterápiával kezelt betegek körében körülbelül 20-50%. Ha a lokális recidívák esetén a salvage műtét nem jön szóba, az olyan betegek esetében akiknél a teljes irradiáció megtörtént, korlátozottak a kezelési lehetőségek tekintettel a kumulatív dózis okozta kockázatokra. A fej-nyaki daganatok frakcionált sugárkezelésére azonban a CyberKnife ilyen esetekben is alkalmazható. A magas konformitású, célzott sugársebészeti technológia lehetővé teszi a recidíva eredményes kezelését az ép szövetek védelme mellett. Az elmúlt évtizedben a CyberKnife sugársebészeti boost alkalmazása a hagyományos kemoradioterápiát követően az NPC-ben szenvedő betegek kezelésének szokásos részévé vált.

Irodalomjegyzék:

1. Leksell L. The stereotaxic method and radiosurgery of the brain. *Acta Chir Scand.* 1951;102:316–
9.[PubMed](#)[PubMedCentral](#)[Google Scholar](#)
2. Adler JR. Accruray, incorporated: a neurosurgical business case study. *Clin Neurosurg.* 2005;52:87.[PubMed](#)[Google Scholar](#)
3. Leksell L. An historical vignette. *Radiosurgery: Baseline and Trends.* New York: Raven Press; 1992. pp. 257–61. [[Google Scholar](#)]
4. Leksell L. Stereotaxis and radiosurgery: An operative system. Springfield: Charles C Thomson; 1971. [[Google Scholar](#)]
5. Adler JR. Stereotactic surgery and radiosurgery madison. *Medical Physics Publication*; 1993. Frameless radiosurgery; pp. 237–48. [[Google Scholar](#)]
6. Adler JR, Cox RS. Preliminary experience with CyberKnife – Radiosurgery. Basel: S.Karger; 1996. pp. 112–38. [[Google Scholar](#)]
7. Colombo F, Benedetti A, Zamardo A, Pozza F, Avanzo R, Chierego G, et al. New technique for three-dimensional linear accelerator radiosurgery. *Acta Neurochir Suppl (Wien)* 1987;39:38–40. [[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)]
8. Adler JR Jr, Murphy MJ, Chang SD, Hancock SL. Image-guided robotic radiosurgery. *Neurosurgery.* 1999;44(6):1299–306; discussion 1306–7.[PubMed](#)[Google Scholar](#)
9. Adler JR. Introduction and overview: CyberKnife radiosurgery: A practical guide. The CyberKnife Society; 2005. pp. 8–9. [[Google Scholar](#)]
10. Coste Manere E, Olender D, Kelby W, Schelz RA. Robotic whole body stereotactic radiosurgery: Clinical advantage of CyberKnife “Integrated system. *Int J Med Robot.* 2005;2:28–39. [[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)]
11. Murphy MJ, Cox RS. The accuracy of dose localization for an image-guided frameless radiosurgery system. *Med Phys.* 1996;23(12):2043–9.[CrossRef](#)[PubMed](#)[Google Scholar](#)
12. Adler Jr. J, R, Chang S, D, Murphy M, J, Doty J, Geis P, Hancock S, L: The Cyberknife: A Frameless Robotic System for Radiosurgery. *Stereotact Funct Neurosurg* 1997;69:124-128. doi: 10.1159/000099863
13. Joost Jan Nuyttens & Marjan van de Pol (2012) The CyberKnife radiosurgery system for lung cancer, *Expert Review of Medical Devices*, 9:5, 465-475, DOI: [10.1586/erd.12.35](#)
14. P. W. Hoban, M. Heydarian, W. A. Beckham, and A. H. Beddoe, “Dose rate dependence of a PTW diamond detector in the dosimetry of a 6 MV photon beam,” *Phys. Med. Biol.* [10.1088/0031-9155/39/8/003](#) **39**, 1219–1229 (1994).
15. M. Heydarian, P. W. Hoban, and A. H. Beddoe, “A comparison of dosimetry techniques in stereotactic radiosurgery,” *Phys. Med. Biol.* [10.1088/0031-9155/41/1/008](#) **41**, 93–110 (1996).
16. F. Haryanto, M. Fippel, W. Laub, O. Dohm, and F. Nüsslin, “Investigation of photon beam output factors for conformal radiation therapy—Monte Carlo simulations and measurements,” *Phys. Med. Biol.* [10.1088/0031-9155/47/11/401](#) **47**, N133–N143 (2002).
17. P. R. Almond, P. J. Biggs, B. M. Coursey, W. F. Hanson, M. S. Huq, R. Nath, and D. W. O. Rogers, “AAPM's TG-51 protocol for clinical

- reference dosimetry of high-energy photon and electron beams,” *Med. Phys.* [10.1118/1.598691](https://doi.org/10.1118/1.598691) **26**, 1847–1870 (1999).
18. AEA, “*Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy: An International Code of Practice for Dosimetry Based on Standards of Absorbed Dose to Water*,” Technical Report Series No. 398 (IAEA, Vienna 2000).
 19. C. M. Ma and D. W. O. Rogers, “BEAMDP user's manual,” National Research Council of Canada Report PIRS-509 (c) (1995).
 20. I. Kawrakow, “Accurate condensed history Monte Carlo simulation of electron transport. I. EGSnrc, the new EGS4 version,” *Med. Phys.* [10.1118/1.598917](https://doi.org/10.1118/1.598917) **27**, 485–498 (2000).
 21. D. W. O. Rogers, I. Kawrakow, J. P. Seuntjens, and B. R. Walters, “NRC User Codes for EGSnrc,” National Research Council of Canada Report PIRS-702 Rev A (2002).
 22. Kilby, W., Dooley, J. R., Kuduvalli, G., Sayeh, S., & Maurer, C. R. (2010). The CyberKnife® Robotic Radiosurgery System in 2010. *Technology in Cancer Research & Treatment*, 433–452. <https://doi.org/10.1177/153303461000900502>
 23. Ho, A. K., Fu, D., Cotrutz, C., Hancock, S. L., Chang, S. D., Gibbs, 49. I. C., Maurer, C. R., Jr., Adler, J. R., Jr. A study of the accuracy of Cyberknife spinal radiosurgery using skeletal structure tracking. *Neurosurgery* **60**, 147-156 (2007).
 24. Jordan, P., West, J. B., Sharda, A., Maurer, C. R., Jr. Retrospective 50. Clinical Data Analysis of Fiducial-Free Lung Tracking. *Med Phys* **37**, 3150 (2010).
 25. Fu, D., Kahn, R., Wang, B., Wang, H., Mu, Z., Park, J., Kuduvalli, 51. G., Maurer, C. R., Jr. Xsight Lung Tracking System: A fiducial-less method for respiratory motion tracking. In: Urschel, H. C., Jr, Kresl, J. J., Luketich, J. D., Papiez, L., Timmerman, R. D. (ed) *Robotic Radiosurgery: Treating Tumors that Move with Respiration*, edn. Springer-Verlag, Berlin, pp 265-282 (2007).
 26. Anantham, D., Feller-Kopman, D., Shanmugham, L. N., Berman, S. M., 52. Decamp, M. M., Gangadharan, S. P., Eberhardt, R., Herth, F., Ernst, A. Electromagnetic navigation bronchoscopy guided fiducial placement for robotic stereotactic radiosurgery of lung tumors — a feasibility study. *Chest* (2007).
 27. Reichner, C. A., Collins, B. T., Gagnon, G. J., Malik, S., Jamis-Dow, 53. C., Anderson, E. D. The placement of gold fiducials for CyberKnife stereotactic radiosurgery using a modified transbronchial needle aspiration technique. *Journal of Bronchology* **12**, 193-195 (2005).
 28. Mu, Z., Fu, D., Kuduvalli, G. Multiple fiducial identification using 54. the hidden Markov model in image guided radiosurgery In: *Computer Vision and Pattern Recognition IEEE Computer Society*. Washington, DC (2006).
 29. Hatipoglu, S., Mu, Z., Fu, D., Kuduvalli, G. Evaluation of a robust 55. fiducial tracking algorithm for image-guided radiosurgery. *Proc SPIE* **6509**, 65090A (2007).
 30. Mu, Z., Fu, D., Kuduvalli, G. A probabilistic framework based on 56. hidden Markov model for fiducial identification in image-guided radiation treatments. *IEEE Trans. Med. Imaging* **27**, 1288-1300 (2008).
 31. Fu, D., Kuduvalli, G. A fast, accurate, and automatic 2D-3D image 46. registration for

- image-guided cranial radiosurgery. *Med Phys* 35, 2180-2194 (2008).
32. Fu, D., Kuduvalli, G. Enhancing Skeletal Features in Digitally Reconstructed Radiographs. *Proc SPIE 6144*, 846-851 (2006).
 33. Fu, D., Kuduvalli, G., Maurer, C. R., Jr., Allison, J. W., Adler, J. R., Jr. 3D target localization using 2D local displacements of skeletal structures in orthogonal x-ray images for image-guided spinal radiosurgery. *Int J Comput Assist Radiol Surg* 1, 198-200 (2006).
 34. Adler, J. R., Cox, R. S. Preliminary clinical experience with the CyberKnife: image-guided stereotactic radiosurgery. In: Alexander E., III, Kondziolka, D., Loeffler, J. S. (ed) *Radiosurgery 1995*, edn. Karger, Basel, Switzerland, pp 316-326 (1996).
 35. Murphy, M. J. An automatic six-degree-of-freedom image registration algorithm for image-guided frameless stereotactic radiosurgery. *Med Phys* 24, 857-866 (1997).
 36. Ryu, S. I., Chang, S. D., Kim, D. H., Murphy, M. J., Le, Q. T., Martin, D. P., Adler, J. R., Jr. Image-guided hypo-fractionated stereotactic radiosurgery to spinal lesions. *Neurosurgery* 49, 838-846 (2001).
 37. Murphy, M. J. Fiducial-based targeting accuracy for external-beam radiotherapy. *Med Phys* 29, 334-344 (2002).
 38. Erszten, P. C., Burton, S. A., Ozhasoglu, C., Welch, W. C. Radiotherapy for spinal metastases: clinical experience in 500 cases from a single institution. *Spine* 32, 193-199 (2007).
 39. King, C. R., Lehmann, J., Adler, J. R., Hai, J. CyberKnife radiotherapy for localized prostate cancer: rationale and technical feasibility. *Technol Cancer Res Treat* 2, 25-29 (2003).
 40. Koong, A. C., Le, Q. T., Ho, A., Fong, B., Fisher, G., Cho, C., Ford, J., Poen, J., Gibbs, I. C., Mehta, V. K., Kee, S., Trueblood, W., Yang, G., Bastidas, J. A. Phase I study of stereotactic radiosurgery in patients with locally advanced pancreatic cancer. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 58, 1017-1021 (2004).
 41. Whyte, R. I., Crownover, R., Murphy, M. J., Martin, D. P., Rice, T. W., DeCamp, M. M., Jr., Rodebaugh, R., Weinhaus, M. S., Le, Q. T. Stereotactic radiosurgery for lung tumors: preliminary report of a phase I trial. *Ann Thorac Surg* 75, 1097-1101 (2003).
 42. Seppenwoolde, Y., Berbeco, R. I., Nishioka, S., Shirato, H., Heijmen, B. Accuracy of tumor motion compensation algorithm from a robotic respiratory tracking system: a simulation study. *Med Phys* 34, 2774-2784 (2007).
 43. Kovács A, Hadjiev J, Lakosi F et al. A tumormozgások jelentőségének sokszeteles-CT-alapú képfúziós vizsgálata tüdődagánatos betegek sugárkezelésénél [Tumor movements detected by multi-slice CT-based image fusion in the radiotherapy of lung cancer patients] *MAGYAR ONKOLÓGIA* 51 : 3 pp. 219-223. , 5 p. (2007)
 44. Kovács A, Hadjiev J, Lakosi F et al. Thermoplastic patient fixation: influence on chest wall and target motion during radiotherapy of lung cancer *STRAHLENTHERAPIE UND ONKOLOGIE (0179-7158 1439-099X)*: 183 5 pp 271-278 (2007)
 45. Kovács A, Hadjiev J, Lakosi F et al. Dynamic MR based analysis of tumor

movement in upper and mid lobe localized lung cancer

PATHOLOGY AND ONCOLOGY

RESEARCH (1219-4956 1532-2807): 15
2 pp 269-277 (2009)

46. Wong, K. H., Dieterich, S., Tang, J., Cleary, K. Quantitative Measurement of CyberKnife Robotic Arm Steering. *Technol Cancer Res Treat* 6, 589-594 (2007).
47. Hoogeman, M., Prevost, J. B., Nuytens, J., Poll, J., Levendag, P., Heijmen, B. Clinical accuracy of the respiratory tumor tracking system of the cyberknife: assessment by analysis of log files. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 74, 297-303 (2009).
48. Adler, J. R., Jr., Bower, R., Gupta, G., Lim, M., Efron, A., Gibbs, I. C., Chang, S. D., Soltys, S. G. Nonisocentric radiosurgical rhizotomy for trigeminal neuralgia. *Neurosurgery* 64, A84-90 (2009).
49. Colombo, F., Casentini, L., Cavedon, C., Scalchi, P., Cora, S., Francescon, P. Cyberknife radiosurgery for benign meningiomas: short-term results in 199 patients. *Neurosurgery* 64, A7-13 (2009).
50. Colombo, F., Cavedon, C., Casentini, L., Francescon, P., Causin, F., Pinna, V. Early results of CyberKnife radiosurgery for arteriovenous malformations. *J Neurosurg* 111, 807-819 (2009).
51. Soltys, S. G., Adler, J. R., Lipani, J. D., Jackson, P. S., Choi, C. Y., Puataweepong, P., White, S., Gibbs, I. C., Chang, S. D. Stereotactic radiosurgery of the postoperative resection cavity for brain metastases. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 70, 187-193 (2008).
52. Wowra, B., Muacevic, A., Tonn, J. C. Quality of radiosurgery for single brain metastases with respect to treatment technology: a matched-pair analysis. *J Neurooncol* 94, 69-77 (2009).
53. Dodd, R. L., Ryu, M. R., Kamnerdsupaphon, P., Gibbs, I. C., Chang, S. D., Jr., Adler, J. R., Jr. CyberKnife radiosurgery for benign intradural extramedullary spinal tumors. *Neurosurgery* 58, 674-685; discussion 674-685 (2006).
54. Gagnon, G. J., Nasr, N. M., Liao, J. J., Molzahn, I., Marsh, D., McRae, D., Henderson, F. C., Sr. Treatment of spinal tumors using cyberknife fractionated stereotactic radiosurgery: pain and quality-of-life assessment after treatment in 200 patients. *Neurosurgery* 64, 297-306; discussion 306-297 (2009).
55. Gibbs, I. C., Spinal and paraspinal lesions: the role of stereotactic body radiotherapy. *Front Radiat Ther Oncol* 40, 407-414 (2007).
56. Sahgal, A., Ames, C., Chou, D., Ma, L., Huang, K., Xu, W., Chin, C., Weinberg, V., Chuang, C., Weinstein, P., Larson, D. A. Stereotactic body radiotherapy is effective salvage therapy for patients with prior radiation of spinal metastases. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 74, 723-731 (2009).
57. Sinclair, J., Chang, S. D., Gibbs, I. C., Adler, J. R., Jr. Multisession CyberKnife radiosurgery for intramedullary spinal cord arteriovenous malformations. *Neurosurgery* 58, 1081-1089; discussion 1081-1089 (2006).
58. Brown, W. T., Wu, X., Fayad, F., Fowler, J. F., Garcia, S., Monterosso, M. I., de la Zerda, A., Schwade, J. G. Application of robotic stereotactic radiotherapy to peripheral stage I non-small cell lung cancer with curative intent. *Clin Oncol (R Coll Radiol)* 21, 623-631 (2009).
59. Collins, B. T., Vahdat, S., Erickson, K., Collins, S. P., Suy, S., Yu, X., Zhang, Y.,

- Subramaniam, D., Reichner, C. A., Sarikaya, I., Esposito, G., Yousefi, S., Jamis-Dow, C., Banovac, F., Anderson, E. D. Radical cyberknife radiosurgery with tumor tracking: an effective treatment for inoperable small peripheral stage I non-small cell lung cancer. *J Hematol Oncol* 2, 1 (2009).
60. Coon, D., Gokhale, A. S., Burton, S. A., Heron, D. E., Ozhasoglu, C., 26. Christie, N. Fractionated stereotactic body radiation therapy in the treatment of primary, recurrent, and metastatic lung tumors: the role of positron emission tomography/computed tomography-based treatment planning. *Clin Lung Cancer* 9, 217-221 (2008).
61. van der Voort van Zyp, N. C., Prevost, J. B., Hoogeman, M. S., Praag, 27. J., van der Holt, B., Levendag, P. C., van Klaveren, R. J., Pattynama, P., Nuyttens, J. J. Stereotactic radiotherapy with real-time tumor tracking for non-small cell lung cancer: clinical outcome. *Radiother Oncol* 91, 296-300 (2009).
62. Friedland, J. L., Freeman, D. E., Masterson-McGary, M. E., Spellberg, D. M. Stereotactic body radiotherapy: an emerging treatment approach for localized prostate cancer. *Technol Cancer Res Treat* 8, 387-392 (2009).
63. Fuller, D. B., Naitoh, J., Lee, C., Hardy, S., Jin, H. Virtual HDR(SM) 30. CyberKnife Treatment for Localized Prostatic Carcinoma: Dosimetry Comparison With HDR Brachytherapy and Preliminary Clinical Observations. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 70, 1588-1597 (2008).
64. Katz, A. J., Santoro, M., Ashley, R., Diblasio, F., Witten, M. Stereotactic body radiotherapy for organ-confined prostate cancer. *BMC Urol* 10, 1 (2010).
65. King, C. R., Brooks, J. D., Gill, H., Pawlicki, T., Cotrutz, C., Presti, 32. J. C., Jr. Stereotactic body radiotherapy for localized prostate cancer: interim results of a prospective phase II clinical trial. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 73, 1043-1048 (2009).
66. Choi, B. O., Choi, I. B., Jang, H. S., Kang, Y. N., Jang, J. S., Bae, S. 33. H, Yoon, S. K., Chai, G. Y., Kang, K. M. Stereotactic body radiation therapy with or without transarterial chemoembolization for patients with primary hepatocellular carcinoma: preliminary analysis. *BMC Cancer* 8, 351 (2008).
67. Goodman, K. A., Wiegner, E. A., Maturen, K. E., Zhang, Z., Mo, Q., 34. Yang, G., Gibbs, I. C., Fisher, G. A., Koong, A. C. Dose-Escalation Study of Single-Fraction Stereotactic Body Radiotherapy for Liver Malignancies. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* (In Press).
68. Stintzing, S., Hoffmann, R. T., Heinemann, V., Kufeld, M., Muacevic, 35. A. Frameless single-session robotic radiosurgery of liver metastases in colorectal cancer patients. *Eur J Cancer* 46, 1026-1032 (2010).
69. Chang, D. T., Schellenberg, D., Shen, J., Kim, J., Goodman, K. A., 99. Fisher, G. A., Ford, J. M., Desser, T., Quon, A., Koong, A. C. Stereotactic radiotherapy for unresectable adenocarcinoma of the pancreas. *Cancer* 115, 665-672 (2009).
70. Mahadevan, A., Jain, S., Goldstein, M., Miksad, R., Pleskow, D., 100. Sawhney, M., Brennan, D., Callery, M., Vollmer, C. Stereotactic Body Radiotherapy and Gemcitabine for Locally Advanced Pancreatic Cancer. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* (In Press).
71. Hara, W., Loo, B. W., Jr., Goffinet, D. R., Chang, S. D., Adler, J. 36. R., Pinto, H. A.,

- Fee, W. E., Kaplan, M. J., Fischbein, N. J., Le, Q. T. Excellent local control with stereotactic radiotherapy boost after external beam radiotherapy in patients with nasopharyngeal carcinoma. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 71, 393-400 (2008).
72. Heron, D. E., Ferris, R. L., Karamouzis, M., Andrade, R. S., Deeb, 37. E. L., Burton, S., Gooding, W. E., Branstetter, B. F., Mountz, J. M., Johnson, J.T., Argiris, A., Grandis, J. R., Lai, S. Y. Stereotactic body radiotherapy for recurrent squamous cell carcinoma of the head and neck: results of a phase I dose-escalation trial. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 75, 1493-1500 (2009).
73. Roh, K. W., Jang, J. S., Kim, M. S., Sun, D. I., Kim, B. S., Jung, S. 38. L., Kang, J. H., Yoo, E. J., Yoon, S. C., Jang, H. S., Chung, S. M., Kim, Y. S. Fractionated stereotactic radiotherapy as reirradiation for locally recurrent head and neck cancer. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 74, 1348-1355 (2009).
74. Rwigema, J. C., Heron, D. E., Ferris, R. L., Gibson, M., Quinn, A., 39. Yang, Y., Ozhasoglu, C., Burton, S. Fractionated Stereotactic Body Radiation Therapy in the Treatment of Previously-Irradiated Recurrent Head and Neck Carcinoma: Updated Report of the University of Pittsburgh Experience. *Am J Clin Oncol* (2009).
75. Teguh, D. N., Levendag, P. C., Noever, I., van Rooij, P., Voet, P., 40. van der Est, H., Sipkema, D., Sewnaik, A., de Jong, R. B., de la Bijl, D., Schmitz, P. I. Treatment Techniques and Site Considerations Regarding Dysphagia-Related Quality of Life in Cancer of the Oropharynx and Nasopharynx. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* (2008).
76. Bondiau, P. Y., Lallemand, M., Bahadoran, P., Birtwisle-Peyrottes, I., 41. Chapellier, C., Chamorey, E., Courdi, A., Quielle-Roussel, C., Ferrero, J. M. [CyberKnife and neoadjuvant chemotherapy for breast tumors: preliminary results]. *Cancer Radiother* 13, 79-84 (2009).
77. Nuyttens, J. J., Prevost, J. B., Van der Voort van Zijp, N. C., Hooge2. man, M., Levendag, P. C. Curative stereotactic robotic radiotherapy treatment for extracranial, extrapulmonary, extrahepatic, and extraspinal tumors: technique, early results, and toxicity. *Technol Cancer Res Treat* 6, 605-610 (2007).
78. Cheng, W., Adler, J.R. An overview of cyberknife radiosurgery. *Chin. J. Clin. Oncol.* 3, 229-243 (2006). <https://doi.org/10.1007/s11805-006-0049-5>
79. Chang SD, Murphy M, Geis P, et al. Clinical experience with image-guided robotic radiosurgery (the CyberKnife) in the treatment of brain and spinal cord tumors. *Neurol Med Chir (Tokyo)*. 1998;38:780-783.
80. Mehta VK, Lee QT, Chang SD, et al. Image guided stereotactic radiosurgery for lesions in proximity to the anterior visual pathways: a preliminary report. *Technol Cancer Res Treat*. 2002;1:173-180.
81. Pham C J, Chang SD, Gibbs IC, et al. Preliminary visual field preservation after staged Cyberknife radiosurgery for perioptic lesions. *Neurosurgery*. 2004;54:799-812.
82. Adler JR, Gibbs IC, Puataweepong P, et al. Visual field preservation after multi-session CyberKnife radiosurgery for peri-optic Lesions. *Neurosurgery* (Accepted).