

Ačkoliv jsou dostupná data do určité míry problematická, některé systematické přehledy a metaanalýzy již byly publikovány a umožňují alespoň orientační odhad účinnosti brachyterapie i bez rozsáhlých randomizovaných studií. Například Greenbergerova metaanalýza ukazuje, že kombinace EBRT s brachyterapií může být z hlediska specifické mortality srovnatelná, nebo dokonce výhodnější oproti samotné prostatektomii (16). Další autoři shrnují výsledky randomizovaných studií, v nichž brachyterapie jako boost k EBRT významně zlepšila biochemickou kontrolu oproti samotné EBRT, byť za cenu mírně vyšší toxicity (17). Na specifickou oblast fokální nebo parciální brachyterapie se zaměřuje metaanalýza autorů pod vedením Gutierrez-Valencia. Tento přehled shrnuje výsledky dvaceti šesti randomizovaných studií a potvrzuje příznivý toxický profil i slibné výsledky u vybraných pacientů s lokalizovaným onemocněním (18). Naopak metaanalýza zaměřující se na kombinaci různých forem radio-terapie s ADT pak ukazuje, že kombinace EBRT s ADT pravděpodobně přináší lepší celkové přežití než kombinace EBRT s brachyterapií bez hormonální léčby, což zdůrazňuje význam optimální sekvence a kombinace léčebných modalit a nenahraditelnou roli ADT i při využití brachyterapie (19). Přestože tedy randomizovaná data zůstávají omezená, tyto metaanalýzy představují důležitý rámec pro klinické rozhodování a ukazují potenciál brachyterapie jako účinné součásti multimodální léčby.

Nedostatky v dlouhodobém sledování toxicity a funkčních výstupů

Většina publikací o brachyterapii se zaměřuje na statistické ukazatele přežití (např. bPFS, metastasis-free survival, overall survival), zatímco údaje o dlouhodobé toxicitě, kvalitě života a patientských preferencích jsou omezené. Hodnocení toxicity je navíc často subjektivní, variabilní mezi centry a málo korelováno s pacientem hlášenými výstupy toxicity. Například chronická rektální toxicita $\geq G2$ se udává mezi 1–5% u LDR-BT a až 10% u HDR-BT v kombinaci s EBRT, ale údaje se výrazně liší podle plánovací techniky, ochrany rektální stěny a definic toxicity. Uretrální striktury jsou dalším častým problémem, zejména u pacientů s větším prostatickým objemem

nebo opakovanými instrumentacemi (3, 12). Absence dlouhodobých funkčních dat ztěžuje informované rozhodování pacientů a lékařů.

Směřování budoucího výzkumu

V posledních letech se do plánování brachyterapie začínají implementovat nástroje umělé inteligence (AI), zejména pro automatické označování objemů, predikci toxicity a optimalizaci dávkových plánů, detekci pozice katetrů a zrn. Algoritmy hlubokého učení využívající radiomické parametry z mpMRI a TRUS umožňují lepší identifikaci rizikových oblastí prostaty a mohou přispět ke zlepšení plánování léčby (20). Rovněž genomické klasifikace (např. Decipher, Prolaris) se ukazují jako slibné nástroje pro stratifikaci pacientů – první studie ukazují, že pacienti s příznivým genomickým profilem mohou profitovat z méně agresivní léčby, zatímco pacienti s vysokým genomickým rizikem by mohli být indikováni ke kombinovaným přístupům (HDR-BT + EBRT + ADT) (21).

Význam brachyterapie jako modalit kurativní léčby lokalizovaného karcinomu prostaty je v odborné literatuře dobře doložen. Přesto zůstává značný potenciál pro další rozvoj – ať už ve směru optimalizace klinických výsledků, redukce toxicity, personalizace přístupu nebo technologických inovací. V této kapitole jsou shrnuty klíčové oblasti, které by měly být pri-

oritou výzkumných programů v následujících letech.

Rostoucí dostupnost genomických testů (např. Oncotype DX, Decipher, Prolaris) umožňuje přesnější stratifikaci pacientů podle biologického rizika relapsu. Kombinace těchto testů s klinickými parametry (např. Gleasonovo skóre, PSA, staging) může pomoci rozhodnout, kteří pacienti profitují z monoterapie a kteří vyžadují eskalaci dávky nebo kombinovanou modalitu (22).

Umělá inteligence (AI), zejména algoritmy hlubokého učení, jsou již dlouhodobě testovány pro automatické označování cílových objemů (CTV, PTV), predikci GTV z MRI nebo plánování distribuce zdrojů. Modely AI mohou rovněž pomoci odhadnout pravděpodobnost toxicity na základě individuálních charakteristik pacienta a anatomických vztahů (23).

Závěr

Brachyterapie se v roce 2025 nachází na křižovatce mezi osvědčenou technologií a dynamicky se rozvíjícím oborem personalizované onkologické péče. Za posledních třicet let došlo k významnému pokroku – od rudimentárních manuálních implantací až po vysoce přesné, obrazem řízené dávkové plánování podporované umělou inteligencí. V kontextu léčby lokalizovaného karcinomu prostaty představuje brachyterapie modalitu s vysokou kurativní

Tab. 3. Srovnání režimů radioterapie u karcinomu prostaty podle BED, EQD2 a doby léčby

Režim léčby	Frakcionace	α/β	BED (Gy)	EQD2 (Gy)	Doba trvání léčby
EBRT (konvenční)	78 Gy/39 frakcí	1,5	182	78	7–8 týdnů
		3	130	78	
EBRT (hypofrakcionace)	60 Gy/20 frakcí	1,5	180	77,1	4 týdny
		3	120	72	
EBRT + HDR-BT (kombinace)	EBRT 50 Gy/25 HDR 2 × 8 Gy	1,5	173,6	74,4	6 týdnů
		3	119,8	71,9	
HDR-BT (monoterapie)	3 × 11 Gy	1,5	275	117,9	1–2 dny na aplikaci
		3	154	92,4	
LDR I-125 (monoterapie)	145 Gy	1,5	239,3	102,6	1–2 dny
		3	192,2	115,3	

Pro každý režim jsou uvedeny výpočty biologicky účinné dávky (BED) a ekvivalentní dávky při 2 Gy frakcích (EQD2) pro dvě různé hodnoty α/β – 1,5 (odpovídá radiosenzitivitě nádorových buněk prostaty) a 3 (používané pro zdravé okolní tkáně nebo srovnávací účely). Tabulka slouží k porovnání biologické účinnosti různých technik radioterapie a orientačního trvání léčby. EBRT – External Beam Radiotherapy = zevní radioterapie; HDR-BT – High-Dose-Rate Brachytherapy = vysokodávková brachyterapie; LDR I-125 – Low-Dose-Rate Brachytherapy s izotopem jodu-125, trvalá implantace; Frakcionace – rozdělení celkové dávky do jednotlivých dávek (frakcí); α/β – poměr radiosenzitivity nádorových a zdravých tkání, důležitý pro výpočet biologické účinnosti (LQ výpočtový model); BED (Gy) – Biologically Effective Dose – biologicky účinná dávka, zahrnuje efekt celkové dávky i režimu aplikace; EQD2 (Gy) – Equivalent Dose in 2 Gy fractions – dávka přepočtená na standardní frakcionaci 2 Gy, umožňuje srovnání různých režimů