

Diagnostický přínos a možnosti využití rentgenové výpočetní mikrotomografie v histopatologické analýze bioptických vzorků

Ondřej Fabián^{1,2}, Jakub Lázňovský³, Andrea Vajsová^{1,4}, Tomáš Zikmund³

¹ Pracoviště klinické a transplantační patologie, Institut klinické a experimentální medicíny, Praha, Česká republika

² Ústav patologie a molekulární medicíny 3. LF UK a FTN, Fakultní Thomayerova nemocnice, Praha, Česká republika

³ Středoevropský technologický institut, Vysoké učení technické v Brně, Brno, Česká republika

⁴ Ústav patologie, Všeobecná fakultní nemocnice v Praze, Praha, Česká republika

SOUHRN

Rentgenová výpočetní mikrotomografie (mikroCT) představuje moderní zobrazovací technologii s vysokým rozlišením umožňující detailní analýzu zobrazovaného vzorku. Nabízí jedinečný pohled na trojrozměrnou architekturu díky rozlišení na pomezí makroskopického a histologického zobrazení. V oblasti anatomické patologie mikroCT nachází uplatnění zejména při morfometrické analýze nádorů, hodnocení resekcí okrajů chirurgických vzorků či detekci metastáz v lymfatických uzlinách. Kombinace mikroCT s tradičními histopatologickými technikami a s využitím digitální 3D rekonstrukce otevírá nové možnosti při analýze komplexních patologických procesů. Přestože je tato metoda zatím převážně využívána ve výzkumu, její klinický potenciál je značný. Mezi hlavní přednosti patří neinvazivní zobrazení a možnost integrace s digitálními patologiemi a nástroji umělé inteligence. Hlavními limitacemi v současné době zůstávají potřeba kontrastování vzorků, monochromatická povaha obrazu a vysoká radiační zátěž. Pokrok v technologickém vývoji však může tyto překážky překonat a umožnit širší využití mikroCT v rutinní klinické diagnostice. Tento článek představuje technologii mikroCT a její diagnostický potenciál v patologii, přibližuje její aplikace, výhody a omezení, a nabízí vhled do budoucí perspektivy jejího využití.

Klíčová slova: výpočetní tomografie – mikroCT – patologie – optická mikroskopie – 3D zobrazování – karcinom

Diagnostic Benefits and Potential Applications of Micro-Computed Tomography in the Histopathological Analysis of Biopsy Samples

SUMMARY

X-ray microtomography (microCT) represents a modern high-resolution imaging technology enabling detailed analysis of the tissue. It offers a unique perspective on three-dimensional architecture, bridging the gap between macroscopic and histological imaging. In anatomical pathology, microCT is particularly utilized for morphometric tumor analysis, evaluation of surgical specimen resection margins, and detection of metastases in lymph nodes. The combination of microCT with traditional histopathological techniques, and with digital 3D reconstructions, opens new avenues for analyzing complex pathological processes. Although this method is currently used in research, its clinical potential is significant. Key advantages include non-invasive imaging and the ability to be integrated with digital pathology and artificial intelligence tools. Current limitations include the need for sample contrast enhancement, the monochromatic nature of the images, and high radiation exposure. Advances in technological development, however, may overcome these barriers and enable the broader adoption of microCT in routine clinical diagnostics. This article explores the diagnostic potential of microCT in pathology, highlighting its applications, advantages, and limitations, while offering insights into current capabilities and future perspectives of this technology.

Keywords: computed tomography – microCT – pathology – optical microscopy – 3D imaging – carcinoma

Cesk Patol 2024; 61(1): 29–35

Mikroskopické zobrazovací metody jako je optická mikroskopie, rastrovací a transmisní elektronová mikroskopie nebo konfokální mikroskopie sehrály v průběhu posledních desetiletí až staletí klíčovou roli v pokroku poznání lidského těla na mikroskopické úrovni. Tyto technologie zásadně přispěly k hlubšímu porozumění patogeneze onemocnění a zpřesnění jejich diagnostiky (1). Nicméně, jejich využití je spojeno s určitými limitacemi, zejména v podobě nutnosti invazivního odběru tkáňových vzorků, což představuje významnou zátěž pro pacienta. Kromě toho zobrazují tkáň převážně ve dvou rozmě-

rech, maximálně s možností určitého rastrování povrchu při velmi vysokém rozlišení, čímž ztrácejí schopnost adekvátně zachytit komplexní trojrozměrnou architekturu tkání a orgánů. Význam trojrozměrného zobrazování je zvláště patrný u závažných patologií jako jsou maligní nádory. Tyto léze se vyznačují komplikovanou morfologií, často multifokálním charakterem růstu a složitou distribucí prekurzorových změn. Tradiční dvourozměrné řezy tak mohou být v mnoha ohledech nedostatečné pro pochopení těchto složitých vztahů (2,3). Moderní medicína se navíc stále více orientuje na minimalizaci invazivity diagnostických a terapeutických postupů, což zvyšuje poptávku po nových nedestruktivních metodách umožňujících detailní trojrozměrné zobrazování. Klasické zobrazovací metody, jako je skiografie, výpočetní tomografie nebo magnetická rezonance nedosahují rozlišení srovnatelného s optickou mikroskopií. Proto byly vyvinuty technologie, které tuto mezeru překonávají, mezi které patří zejména rentgenová výpočetní mikrotomografie (mikroCT), případně mikroskopická magnetická rezonance (mikroMRI). Technologie mikroCT, využívající silné rentgenové

✉ Adresa pro korespondenci:

doc. MUDr. Ondřej Fabián, Ph.D.

Pracoviště klinické a transplantační patologie

Institut klinické a experimentální medicíny

Vídeňská 1958/9

140 21, Praha 4

e-mail: ondrej.fabian@ikem.cz