

**Univerzita Karlova**

**Přírodovědecká fakulta**

Studijní program: Biologie



**Barbora Holakovská**

*Trichophyton simii* komplex: shrnutí poznatků o málo prozkoumaném  
druhovém komplexu lidských i zvířecích patogenů

*Trichophyton simii* complex: a summary of knowledge on a poorly  
studied species complex of human and animal pathogens

Bakalářská práce

Vedoucí práce/Školitel: MUDr. Mgr. Vít Hubka, Ph.D.

Praha, 2024

## **Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze dne 11.12. 2024

Barbora Holakovská

## **Poděkování:**

Ráda bych poděkovala svému školiteli MUDr. Mgr. Vítu Hubkovi, Ph.D. za jeho ochotu a vstřícnost při vedení mé práce. Jeho cenné rady, odborné vedení a četné komentáře byly pro mě velmi užitečné a přínosné. Děkuji za jeho podporu a trpělivost.

## Abstrakt

Tato práce se zaměřuje na komplex druhů *Trichophyton simii*, patřící do čeledi *Arthrodermataceae*. Jejím cílem je shrnout dostupné znalosti o geneticky blízce příbuzných zástupcích tohoto komplexu. Dermatofyty jsou patogenní houby způsobující povrchové mykózy u lidí a zvířat. Současná taxonomie komplexu *T. simii* rozeznává tři hlavní antropofilní a zoofilní druhy: *T. quinckeanum*, *T. schoenleinii* a *T. simii*, spolu s několika dalšími druhy s nejednoznačným postavením. Přestože se jedná o ekologicky a morfologicky velmi rozdílné druhy, jejich rozeznání pomocí molekulárních metod není triviální kvůli jejich blízké genetické příbuznosti. Práce shrnuje historický vývoj systematiky dermatofytů, současnou taxonomii komplexu *T. simii*, jeho ekologii a geografické rozšíření. Dále se věnuje charakteristikám jednotlivých druhů komplexu, rozdílům mezi nimi a metodám jejich identifikace. Součástí je také přehled známých biochemických, fyziologických a fenotypových rozdílů mezi druhy, včetně genetických odlišností na úrovni specifických genů. Cílem práce je poskytnout ucelený přehled současných znalostí o tomto málo prozkoumaném komplexu lidských a zvířecích patogenů.

**Klíčová slova:** *T. simii* komplex, dermatofyty, taxonomie, genetické rozdíly, molekulární identifikace, patogenita

## Abstract

This work focuses on the *Trichophyton simii* complex, which belongs to the family *Arthrodermataceae*. Its aim is to summarize the available knowledge about the genetically closely related representatives of this complex. Dermatophytes are pathogenic fungi that cause superficial mycoses in humans and animals. Current taxonomy of the *T. simii* complex recognizes three main anthropophilic and zoophilic species: *T. quinckeanum*, *T. schoenleinii* and *T. simii*, along with several other species of ambiguous status. Despite their ecological and morphological differences, distinguishing between these species using molecular methods is not straightforward due to their close genetic relationship. This work reviews the historical development of dermatophyte systematics, the current taxonomy of the *T. simii* complex, its ecology, and geographic distribution. It also addresses the characteristics of the individual species within the complex, differences between them, and methods for their identification. Additionally, the work includes an overview of known biochemical, physiological, and phenotypic differences between the species, including genetic distinctions at the level of specific genes. The goal of this work is to provide a comprehensive overview of the current knowledge about this relatively underexplored complex of human and animal pathogens.

**Keywords:** *T. simii* complex, dermatophytes, taxonomy, genetic differences, molecular identification, pathogenicity

## Obsah

Úvod .....	1
1. Klasifikace dermatofytů .....	2
1.1. Historie systematiky dermatofytů .....	2
1.2. Současná systematika dermatofytů .....	2
1.3. Taxonomie komplexu <i>Trichophyton simii</i> .....	3
1.4. Historické souvislosti mezi <i>T. mentagrophytes</i> a druhy <i>T. simii</i> komplexu 5	
2. Klinické projevy dermatofytózy a diagnostika .....	7
3. Ekologie a geografie druhů <i>T. simii</i> komplexu .....	9
3.1. Ekologické dělení dermatofytů .....	9
3.2. Hostitelé a klinická manifestace infekcí způsobených druhy <i>T. simii</i> komplexu 9	
3.2.1. <i>Trichophyton schoenleinii</i> .....	9
3.2.2. <i>Trichophyton simii</i> .....	10
3.2.3. <i>Trichophyton quinckeanum</i> .....	11
3.2.4. Ostatní druhy komplexu <i>T. simii</i> .....	11
3.3. Geografické rozšíření druhů komplexu <i>T. simii</i> .....	12
3.3.1. <i>Trichophyton simii</i> .....	12
3.3.2. <i>Trichophyton schoenleinii</i> .....	12
3.3.3. <i>Trichophyton quinckeanum</i> .....	14
4. Charakteristiky druhů komplexu <i>Trichophyton simii</i> .....	15
4.1. Rod <i>Trichophyton</i> .....	15
4.2. Morfologické charakteristiky .....	16
4.2.1. <i>Trichophyton mentagrophytes</i> .....	16
4.2.2. <i>Trichophyton quinckeanum</i> .....	17

4.2.3. Trichophyton schoenleinii .....	18
4.2.4. Trichophyton simii .....	20
5. Morfologické, biochemické a fyziologické rozdíly mezi druhy <i>T. simii</i> komplexu .....	21
6. Fylogeneze a genetické odlišnosti .....	23
7. Molekulární metody identifikace druhů komplexu <i>Trichophyton simii</i> .....	25
7.1. PCR.....	25
7.2. MALDI-TOF hmotnostní spektrometrie.....	26
Závěr .....	28
Seznam použité literatury .....	29

# Úvod

*Trichophyton simii* komplex je komplex druhů spadající do skupiny dermatofytů, které patří do čeledi *Arthrodermataceae*. Tyto mikroskopické houby zahrnují ekologicky a fylogeneticky příbuzné patogeny způsobující povrchové mykózy (dermatofytózy, zvané též anglicky ringworm), zejména u člověka a savců (de Hoog et al., 2020; Hubka, Peano, et al., 2018). Dermatofyty jsou neúspěšnější patogenní houby, které infikují keratinizované tkáně (kůže, vlasy, nehty, srst, drápy) a dovedou je využívat jako svůj jediný zdroj živin (Sugiyama et al., 2002).

V posledních několika desetiletích byly dermatofyty rozdělovány do tří rodů *Trichophyton*, *Epidermophyton* a *Microsporum*, a k nim přidružené pohlavní stádium *Arthroderma* (Weitzman et al., 1986). V roce 2012 bylo toto duální rozdělení na pohlavní a nepohlavní stádium zrušeno (McNeill et al., 2012) a počet rodů dermatofytů rozšířen na sedm: *Arthroderma*, *Epidermophyton*, *Lophophyton*, *Microsporum*, *Nannizzia*, *Paraphyton* a *Trichophyton* (de Hoog et al., 2017).

Pojetí *Trichophyton simii* komplexu se v průběhu času výrazně měnilo, stejně jako taxonomická klasifikace jeho dnešních zástupců. Jeho hlavními zástupci jsou antropofilní druh *Trichophyton schoenleinii*, zoofilní *T. simii* a zoofilní *T. quinckeanum* (Gräser et al., 2018).

## Cíle práce

Cílem této práce je shrnout současné znalosti o málo prozkoumaném druhovém komplexu *Trichophyton simii*. Práce se zaměřuje na historii dermatofytů, charakteristiky jednotlivých druhů, patogenezi infekcí, ekologii a epidemiologii, stejně jako na genetické, molekulární a morfologické odlišnosti těchto druhů. Dále se věnuje možnostem identifikace pomocí molekulárních dat a geografickému rozšíření těchto druhů.



# 1. Klasifikace dermatofytů

## 1.1. Historie systematiky dermatofytů

Historicky se obor lékařská mykologie začal formovat v polovině 19. století. Téma mykotické etiologie lidských onemocnění řešili zejména tři evropští lékaři: Robert Remak, Johann L. Schönlein a David Gruby (Weitzman et al., 1995). Remak poprvé pozoroval "zvláštní" mikroskopické struktury v buňkách z lézí (Seeliger, 1985) a Schönlein jim přiřkl jejich mykotickou povahu (Schönlein, 1839). Gruby později vydal jeho pozorování (Gruby, 1841), popisující například infekční povahu nemoci a postižené části těla. Kolem roku 1890 je následoval jeden z nejvýznamnějších lékařských mykologů Raimond Sabouraud, který vydal své studie o taxonomii, morfologii a metodách kultivace dermatofytů s názvem *Les Teignes* (Sabouraud, 1910). Sabouraud klasifikoval dermatofyty do čtyř rodů, a to *Achorion*, *Epidermophyton*, *Microsporum* a *Trichophyton*. Vyvinul médium pro kultivaci hub, které se používá dodnes, a je nazýváno na jeho počest Sabouraudův glukózový agar (SGA). V roce 1934 byl Emmonsem vyřazen rod *Achorion* a jeho zástupci byli převedeni do rodu *Trichophyton* nebo *Microsporum* (Emmons, 1934). Během následujících let došlo k rozšíření kultivace dermatofytů a velkému nárůstu počtu popisů nových druhů na základě klinického obrazu infekcí a morfologických znaků, což zahrnovalo také přejmenování způsobené přesuny některých druhů mezi rody. V roce 1950 tedy existovalo celkem 350 druhových jmen dermatofytů (de Hoog et al., 2017). Pro dermatofyty s pohlavním stádiem bylo též používáno do nedávné doby tzv. duální názvosloví, které pro pohlavní a nepohlavní stádium jednoho organismu vyžadovalo užívání rozdílných jmen (Taylor, 2011). V roce 2011 byla však duální nomenklatura zrušena (Hawksworth, 2011; McNeill et al., 2012) a byl vytvořen systém založený zejména na fylogenezi, kdy každý druh nese pouze jediné jméno (de Hoog et al., 2017)

## 1.2. Současná systematika dermatofytů

Dermatofyty řadíme do oddělení *Ascomycota*, pododdělení *Pezizomycotina*, třídy *Eurotiomycetes* a řádu *Onygenales*. Řád *Onygenales* zahrnuje především patogeny specializující se na endotermní živočichy, včetně člověka. Jejich prevalence u konkrétních

hostitelů může dosahovat až desítek procent (Čmoková et al., 2020; Duarte et al., 2010). Řád *Onygenales* dnes obsahuje v minulosti popsané čeledi, *Arthrodermataceae*, *Ajellomycetaceae*, *Ascosphaeraceae*, *Eremascaceae*, *Gymnoascaceae*, *Onygenaceae* a *Spiromastigoidaceae* a nově popsané čeledi *Malbrancheaceae* a *Neogymnomycetaceae* (Kandemir et al., 2022). Čeď *Arthrodermataceae* zahrnuje všechny dermatofyty a některé další keratinofilní houby, z nichž jsou dermatofyty evolučně odvozeny.

Rod *Trichophyton* zahrnuje několik desítek druhů. De Hoog et al. (2017) na základě multilokusové fylogenetické studie akceptoval 16 druhů a zahrnul i výčet jejich fakultativních a obligatorních synonym. Dle Gräser et al. (2018) jsou druhy rozděleny do několika řad (series), které jsou ale neoficiální a formálně neplatné (validní taxonomický popis chybí). Jedná se o *Trichophyton benhamiae* series (druhy *T. benhamiae*, *T. concentricum*, *T. eriotrephon* a *T. verrucosum*), *T. bullosum* series (*T. bullosum* a *T. africanum*), *T. mentagrophytes* series (*T. equinum*, *T. indotineae*, *T. interdigitale*, *T. mentagrophytes* a *T. tonsurans*), *T. rubrum* series (*T. rubrum*, *T. soudanense* a *T. violaceum*) a *T. simii* series (*T. quinckeanum*, *T. schoenleinii* a *T. simii*) (Gräser et al., 2018). Ostatní autoři většinou používají pro označení skupiny blízce příbuzných druhů označení klád (anglicky "clade") nebo druhový komplex (anglicky "species complex"), preferovaný i v této práci. Od roku 2017 bylo popsáno dalších 6 druhů, a to *T. africanum* (Čmoková et al., 2020), *T. europaeum* (Čmoková et al., 2020), *T. indotineae* (Kano et al., 2020), *T. japonicum* (Čmoková et al., 2020), *T. persicum* (Čmoková et al., 2021) a *T. spiraliforme* (Čmoková et al., 2021). Druhy *T. europaeum*, *T. japonicum*, *T. persicum* a *T. spiraliforme*, rozšířily *T. benhamiae* komplex (Čmoková et al., 2021), zatímco *T. indotineae* (Kano et al., 2020) byl zařazený do komplexu *T. mentagrophytes*. Pojetí širě některých komplexů se mezi autory mírně odlišuje. Například *T. africanum* a *T. bullosum* (*T. bullosum* series) jsou Čmokovou et al. (2020) považovány za zástupce *T. benhamiae* komplexu. Podobně se liší i pojetí komplexu *T. simii* (viz níže).

### 1.3. Taxonomie komplexu *Trichophyton simii*

Podle Gräser et al. (2018) zahrnuje *T. simii* komplex pouze tři druhy: *T. quinckeanum*, *T. schoenleinii* a *T. simii*. De Hoog et al. (2017) přitom jmenované druhy

řadí do široce pojatého komplexu (series) *T. mentagrophytes* spolu s druhy *T. tonsurans*, *T. equinum*, *T. interdigitale* a *T. mentagrophytes* (de Hoog et al., 2017).

*Trichophyton schoenleinii* byl poprvé popsán z infekce typu favus Lebertem již v počátcích lékařské mykologie, a sice roku 1845 (Lebert, 1845). Druh dlouho nemohl najít své místo v klasifikaci dermatofytů, což se odráží v bohaté historii jeho přesunů mezi různými rody, pravděpodobně způsobené jeho unikátní morfologií (viz kapitola 3.2.3). Druh byl původně pojmenován jako *Oidium schoenleinii* a později převeden do rodu *Achorion* jako *A. schoenleinii* (Remak, 1845). Další taxonomický přesun byl proveden roku 1897, kdy byl druh zařazen do rodu *Schoenleinius* (*S. achorion*), následně roku 1923 do rodu *Grubyella* (*G. Schoenleinii*) (Langeron, 1923), roku 1925 do rodu *Arthrosporia* (*A. schoenleinii*) (Grigoraki, 1925), a roku 1931 do *Sporotrichum* (*S. schoenleinii*). Jeho aktuální název nese od roku 1934.

Podobně složitým vývojem prošla i taxonomie druhu *T. quinckeanum*, který byl popsán roku 1890 jako *Oidium quinckeanum* z lidské kůže (Zopf, 1890) a následně převeden do rodů *Achorion* (*A. quinckeanum*), *Sabouraudites* (*S. quinckeanus*) (Ota et al., 1923), *Closteraleuriospora* (*C. quinckeanus*) (Grigoraki, 1925), a *Microsporum* (*M. quinckeanum*) (Guiart et al., 1928). Do rodu *Trichophyton* byl *T. quinckeanum* přesunut roku 1940. Některými autory byl také považován za varietu druhů *Trichophyton gypseum*, *T. gypseum* var. *quinckeanum* (Frágner, 1956), nebo *Trichophyton mentagrophytes*, *T. mentagrophytes* var. *quinckeanum* (Cotchin et al., 1967).

V roce 1999 bylo výrazně pozměněno taxonomické pojetí druhů *T. mentagrophytes* a *T. quinckeanum* v důsledku neotypizace *T. mentagrophytes* (Gräser et al., 1999), kdy neotyp *T. mentagrophytes* byl v podstatě identický s *T. quinckeanum*. V důsledku této změny se *T. quinckeanum* stal synonymem *T. mentagrophytes* kvůli jeho taxonomické prioritě (*T. mentagrophytes* byl popsán dříve než *T. quinckeanum*). *Trichophyton mentagrophytes* tedy převzal dřívější pojetí druhu *T. quinckeanum* a stal se vzácným druhem v klinické praxi (Chollet et al., 2015). Pro někdejší kmeny *T. mentagrophytes* se začalo využívat konceptu tzv. antropofilních a zoofilních kmenů *T. interdigitale*. Většina izolátů, které byly kdysi označovány za *T. mentagrophytes*, byla klasifikována jako zoofilní kmeny *T. interdigitale* (Nenoff et al., 2007). Výběr neotypu *T. mentagrophytes* byl ale zpochybňován některými autory (Beguin et al., 2012; Chollet et al., 2015; Sun et al., 2010),

a proto de Hoog et al. (2017) přistoupili k určení jiného "alternativního neotypu", který měl přesněji reprezentovat druh *T. mentagrophytes* a vrátit zpět jeho původní taxonomické pojetí. Spolu s tím se obnovil i původní koncept druhu *T. quinckeanum*, který je dnes opět akceptován jako samostatný druh (de Hoog et al., 2017).

*Trichophyton simii* byl popsán v roce 1912 jako *Epidermophyton simii* (Pinoy, 1912). Následně byl roku 1919 převeden do rodu *Pinoyella* jako *P. simii* (Castellani et al., 1919). Z rodu *Pionella* byl druh přesunut do rodu *Trichophyton* jako *T. simii* (Stockdale et al., 1965). Pro jeho pohlavní stádium bylo navrženo jméno *Arthroderma simii* (Stockdale et al., 1965).

Mezi další druhy, náležející do *T. simii* komplexu patří *T. depressum*, izolovaný z lidské kůže (MacCarthy, 1925), *T. langeronii*, popsáný z kůže velblouda ze Saudské Arábie (Milochevitch, 1931), *T. papillosum* izolovaný ze srsti mladého skotu ve Francii (Lebasque, 1934) a *T. sarkisovii* z kůže velblouda z Kazachstánu (Ivanova, 1983). Gräser et al. (1999) analyzovala pomocí ITS (Internal Transcribed Spacer) sekvencí druhy z *T. simii* komplexu a zjistila, že tyto 4 druhy mají sekvence podobné s *T. mentagrophytes* var. *mentagrophytes* (jeho tehdejší neotypem CBS 318.65), *T. mentagrophytes* var. *quinckeanum* a *T. schoenleinii*. Na základě těchto příbuzností byly druhy *T. langeronii*, *T. papillosum* a *T. sarkisovii* synonymizovány s *T. mentagrophytes* (Gräser et al., 1999). Další taxonomické studie, které by se detailněji zabývaly pozicí těchto druhů, ale chybí.

#### **1.4. Historické souvislosti mezi *T. mentagrophytes* a druhy *T. simii* komplexu**

V prvopočátcích taxonomie dermatofytů bylo druhové vymezení založeno především na klinických znacích. Emmons roku 1934 zavedl klasifikaci založenou na morfologických znacích (Emmons, 1934). Druhové jméno *T. mentagrophytes* náleželo všem izolátům, které měly kolonie zrnitého typu, které byly nejčastěji izolované z lézí typu tinea capitis, tinea corporis, tinea unguium a tinea barbae. Podle této klasifikace byl *T. quinckeanum* redukován na synonymum *T. mentagrophytes*, i když někteří mykologové považovali *T. quinckeanum* za varietu *T. mentagrophytes*, *T. mentagrophytes* var.

*quinckeanum*, kvůli jeho schopnosti vyvolávat favus u malých zvířat a příležitostně i u člověka (Beguin et al., 2012)

Druh *T. simii* byl vždy považován za samostatný druh, přestože s *T. mentagrophytes* sdílí podobnou morfologii. Druhy byly jasně odděleny již před érou molekulární biologie na základě křížících experimentů, kdy bylo dokázáno že nejsou kompatibilní (Stockdale et al., 1965). Naproti tomu *T. quinckeanum* se úspěšně křížil s druhem *T. benhamiae* (*Arthroderma benhamiae*) (Ajello et al., 1967) a tím se nepodařilo vymezit jeho postavení jako samostatného druhu (Ajello et al., 1968). Autoři Ajello et al. (1968) považovali nesprávně *T. quinckeanum* za synonymum *T. mentagrophytes* na základě křížících experimentů, při nichž byly izoláty označené jako *T. quinckeanum* úspěšně kříženy s kmeny *Arthroderma benhamiae* (bývalé pohlavní stádium *T. mentagrophytes*). Během experimentu byly autory pozorovány askospory, což autoři považovali za doklad synonymie druhů. Tyto závěry ale byly rozporovány dalšími autory (Weitzman et al., 1976). Při dalších křížících pokusech bylo prokázáno, že se *T. simii* kříží s *T. quinckeanum* (*T. mentagrophytes* var. *quinckeanum*), na rozdíl od *T. mentagrophytes* (Weitzman et al., 1976). To vedlo ke správným závěrům, že je *T. mentagrophytes* var. *quinckeanum* příbuznější s *T. simii* než s *T. mentagrophytes* (Weitzman et al., 1976).

Komplex *T. mentagrophytes* měl v době před molekulární érou tři odlišné teleomorfy, a to *A. benhamiae*, *A. simii* a *A. vanbreuseghemii* (Gräser et al., 1999). Toto nebiologické dělení a rozdělení na anamorfu a teleomorfu bylo roku 2011 zrušeno (Hawksworth, 2011). *Arthroderma vanbreuseghemii* nyní fylogeneticky spadá do *T. mentagrophytes* komplexu, *A. benhamiae* do *T. benhamiae* komplexu a *A. simii* do *T. simii* komplexu (de Hoog et al., 2017; Gräser et al., 2018).

Zavedení molekulárních metod vedlo k dalšímu upřesnění vymezení druhů a jejich fylogenetických příbuzností v rámci komplexu *T. mentagrophytes*. První molekulární studie zaměřená na tento komplex, na rozdíl od závěrů Weizman (1976), označila *T. mentagrophytes* jako nejbližšího příbuzného *T. simii*, jelikož Gräser et al. (1999) vybrala pro *T. mentagrophytes* neotyp (CBS 318.56) identický s druhem *T. quinckeanum*. Tímto výběrem se stal *T. mentagrophytes* vzácným druhem v klinické praxi mezi lety 1999–2017 (v této periodě byl *T. quinckeanum* kvůli nešťastně zvolenému neotypu *T. mentagrophytes* skutečně synonymem *T. mentagrophytes*). De Hoog et al. (2017) vybral později

alternativní neotyp, který navrátil *T. mentagrophytes* zpět do původního užívání, stejně tak i *T. quinckeanum* (de Hoog et al., 2017). De Hoog et al. (2017) také řadili druhy z *T. simii* komplexu do *T. mentagrophytes* series, ale většinou je *T. simii* komplex uváděn jako samostatný komplex (Gräser et al., 2018).

## 2. Klinické projevy dermatofytózy a diagnostika

Klinický obraz dermatofytózy je velmi variabilní a je výsledkem kombinace poškození keratinizovaných tkání a zánětlivé reakce hostitele. Důležitými faktory vedoucími k různým klinickým formám dermatofytózy jsou: druh dermatofytu, místo na těle, míra jeho keratinizace a imunitní stav hostitele (Degreef, 2008).

Tradičně se klinické jednotky dermatofytózy dělí podle infikovaného místa na těle. Napadená může být hladká kůže na trupu a končetinách (*tinea corporis*), oblasti třísel (*tinea cruris*), hladká kůže obličeje (*tinea faciei*), vysoce keratinizovaná kůže dlaní (*tinea manus*) nebo chodidel (*tinea pedis*), kůže s vlasovými folikuly na hlavě, obočí a řasách (*tinea capitis*) nebo vousů (*tinea barbae*) a také nehty (*tinea unguium* nebo též onychomykóza) (Degreef, 2008).

Typické klinické projevy dermatofytózy na vlasaté části hlavy jsou velmi variabilní. Může se jednat o mírně šupinatá ložiska se zlámanými vlasy, přes projev podobný seboroické dermatitidě, až po rozsáhlá ložiska alopecie nebo léze typu kerion (*tinea capitis profunda*; zánětlivý nebo hnisavý typ *tinea capitis* spojený s purulentním výtokem a často i lokální lymfadenopatií) (Elewski, 2000; Isa-Isa et al., 2010; Rinaldi, 2000). Na těle se mohou vyskytovat rychle se šířící, vyvýšené, často svědivé erytematózní léze se světlým středem, zarudlým okrajem a ostrým lemem. Na nohou (meziprstí, prsty, plantární strana chodidla, nárt, okolí Achillovy šlachy) mohou být sledovány příznaky jako šupinatění, odlupování pokožky, macerace, erytematózní plaky, krusty a pustuly (Ilkit et al., 2015). Na nehtech nohou a rukou se infekce projevuje narušením nehtové ploténky, onycholýzou (Elewski, 1998), nebo ztluštěním nehtové ploténky. Často bývá přítomna žlutá nebo bílá diskolorace. Obvykle je přítomna i subunguální hyperkeratóza, která vede k odloučení nehtu nebo jeho části (Rinaldi, 2000).

Mezi základní metody diagnostiky dermatofytózy patří přímá mikroskopie a kultivace patogenu. Mikroskopické vyšetření jako přímý průkaz patogenu se provádí po odběru klinických vzorků. Odběr kožních šupin se provádí zpravidla sterilním skalpelem z okrajové části ložiska (aktivní zóna růstu) po hrubém odstranění krust nebo nánosů šupin. Pokud je vyžadován odběr vlasů nebo chlupů, je potřeba je vytrhnout i s folikulem sterilní pinzetou. Při odběru vzorku z nehtů se nejprve odstraní povrchové části a místo se dekontaminuje 70% alkoholem (Moriello, 2001). Pak se odebírají šupiny z podnehtové drti skalpelem nebo kyretou. Přímé mikroskopické vyšetření se může provádět jako nebarvený louhový preparát, kdy se ke vzorku přidá 20 % KOH (hydroxid draselný) a nechá se macerovat 30–60 minut. Vyšetření sice dokáže odhalit charakteristické mikroskopické rysy některých mykóz, např. pravidelně septované hyfy dermatofytů, rozpadající se na artrokonidie, ale nedokáže rozlišit jednotlivé druhy dermatofytů (Hubka, Peano, et al., 2018). Dále je možné využít fluorescenční mikroskopii (Cubells et al., 2016). Mikroskop s modrými filtry (400–440 nm) se využívá k detekci struktur hub po obarvení vzorku fluorescenčními barvivy, jako např. kalkofluor nebo blankofor, které se váží na chitin (Kuklová et al., 2018).

Přímým průkazem dermatofytů je také kultivace, k níž se preferenčně využívá SGA s antibiotiky – chloramfenikolem a cykloheximidem (selektivní médium), nebo bez antibiotik. Kultivace probíhá při teplotě 24–30 °C, a to až 3–4 týdny (Georg, 1953; Robert et al., 2008).

Přímá mikroskopie i kultivace dermatofytů bývá někdy neúspěšná, zejména u onychomykózy, a může být nutné vyšetření opakovat. Pro detekci dermatofytů lze také využít testy na bázi PCR (polymerázová řetězová reakce) přímo z odebraných vzorků bez nutnosti kultivace (Dąbrowska et al., 2014; Kupsch et al., 2016; Piri et al., 2018; Rudramurthy et al., 2017; Verrier et al., 2017), což může významně urychlit diagnostiku dermatofytózy.

## 3. Ekologie a geografie druhů *T. simii* komplexu

### 3.1. Ekologické dělení dermatofytů

Na základě ekologie jsou dermatofyty rozdělovány na antropofilní, zoofilní a geofilní. Antropofilními druhy se přenáší z člověka na člověka prostřednictvím arthrospor v kožních šupinách, tedy kontaktem zdravého jedince s nakaženou osobou, kontaminovaným prostředím (sprchy, sauny, bazény apod.) nebo předměty (např. ručníky, hřebeny, lůžkoviny a oblečení) (Aly, 1994).

Zoofilní dermatofyty působí povrchové mykózy u savců nebo ptáků a na člověka se mohou přenést přímým kontaktem s nakaženým zvířetem nebo při kontaktu s arthrosporami, které se nacházejí v odloupaných šupinách kůže nebo chlupech (Chermette et al., 2008). Zoofilní dermatofyty mají u člověka tendenci vyvolávat více zánětlivou reakci než antropofilní dermatofyty (Hubka, Peano, et al., 2018).

Geofilní dermatofyty se vyskytují na substrátech obsahujících keratin, nacházející se zejména v půdě, např. v okolí nor terestrických zvířat, hnízd, uhynulých zvířat, výkalů masožravců apod. Tyto druhy jsou evolučně nejstarší skupinou dermatofytů a jejich celý životní cyklus, včetně pohlavního cyklu, probíhá v půdě. Při náhodném kontaktu s půdou obsahující spory těchto dermatofytů, mohou geofilní druhy způsobit u člověka nebo jiných živočichů infekci. Přenos z nakaženého jedince na jiného jedince je vzácný (de Hoog et al., 2020; Hubka, Peano, et al., 2018).

### 3.2. Hostitelé a klinická manifestace infekcí způsobených druhy *T. simii* komplexu

#### 3.2.1. *Trichophyton schoenleinii*

Antropofilní druh *T. schoenleinii* nejčastěji způsobuje tineu capitis typu favus (tinea capitis favosa) (Gao et al., 2019), tineu capitis typu "black dot" (Iwasa et al., 2019) nebo tineu capitis typu "gray-patch" (Deng et al., 2008), ale také tineu corporis (Roos et al., 2004). Favus se nejčastěji vyskytuje u dětí, ale není ojedinelý ani u dospělých (Ilkit, 2010). Projevuje se nažloutlými krustami ve tvaru pohárku zvanými skutuly, které se



skládají z vlasových folikulů, neutrofilů a hyf (Khaled et al., 2007). V důsledku infekce může dojít k alopecii nebo trvalé ztrátě vlasů (Ilkit, 2010). Varianta "black dot" způsobuje vypadávání a lámání vlasů, zanechávajících po sobě vzor černých teček (Gupta et al., 2000). Varianta "gray-patch" se typicky projevuje šedivými nebo bělavými šupinatými suchými (Leung et al., 2020) lézemi, které jsou obvykle dobře ohraničené a objevují se na místech, kde se vlasy lámou (obvykle 2-3 mm nad pokožkou hlavy); zánět je většinou minimální, ale postižená místa mohou svědět (Deng et al., 2008; Farooqi et al., 2014). Termín "gray-patch" se v pojetí některých autorů zcela nebo z části kryje s termíny tinea capitis "vzhledu strniště" (Hubka, Čmoková, et al., 2018) nebo též mikrosporíe, protože podobný klinický obraz působí převážně zástupci rodu *Microsporum* (Pratiwi et al., 2020).

Klíčovou cestou přenosu je kontakt mezi lidmi. Izoláty mohou být kultivovány jak z infikovaných vlasů, ale také z pokrývek hlavy infikovaných jedinců (Deng et al., 2008). Favus způsobený *T. schoenleinii* se často přenáší intrafamiliárně (Matte et al., 1997) a prostřednictvím asymptomatických přenašečů (Carslaw, 1955), ale přenos vyžaduje dlouhodobější vystavení infekci. Náhodným kontaktem se většinou člověk nenakazí (Rippon, 1988). Intrafamiliární infekce (infekce u dvou a více členů rodiny/domácnosti) způsobené *T. schoenleinii* (Blank, 1962) se mohou vyskytovat až u 40,7 % pacientů (Ural et al., 1988).

### **3.2.2. *Trichophyton simii***

*Trichophyton simii* má nízký epidemický potenciál u svých hostitelů, což jsou nejčastěji primáti, drůbež a psi (Seyedmousavi, 2018). Dále byl izolován z malých savců, např. *Rattus rattus* (krysa obecná), *Suncus murinus*, *Bandicota bengalensis*, *Nesokia indica*, atd. U žádného z těchto malých savců, u kterých byl druh v Indii zjištěn, nebyly nalezeny kožní léze a jejich srst nefluoreskovala pod ultrafialovým světlem (Gugnani et al. 1975). Je tedy otázkou, zda šlo o aktivní infekci, nebo o kontaminaci srsti. *Trichophyton simii* byl považován za zoofilní druh, ale po záchytu *T. simii* z půdy a ze srsti drobných asymptomatických savců bylo tvrzení přehodnoceno na geofilní druh (Beguin et al., 2013). Izolace *T. simii* z půdy na drůbeží farmě v Naraině se dalo přičíst možné přítomnosti infikovaného peří vyvrženého infikovanými ptáky z půdy (Gugnani et al., 1975). U člověka příležitostně způsobuje tinea corporis, tinea capitis, tinea cruris a tinea unguium (Beguin

et al., 2013). Případy byly popsány z Belgie (Beguin et al., 2013), Francie (Beguin et al., 2013) a Pobřeží slonoviny (Beguin et al., 2013). Podle Attapattu (1989) vysvětlením může být, že infikovaní lidé žili ve venkovských oblastech, kde pravděpodobně přicházeli do kontaktu s infikovanými zvířaty (Attapattu, 1989), ale mohli být infikováni i při kontaktu s půdou.

### **3.2.3. *Trichophyton quinckeanum***

*Trichophyton quinckeanum* má jako své hlavní hostitele malé hlodavce, jako jsou myši a potkani. Z hlodavců se infekce může přenášet na člověka a zvířata, jako jsou kočky, psi, králíky, slepice, koně a ovce (Uhrlaß et al., 2018). U zvířat infekce nejčastěji postihuje hlavu, včetně periorbitální oblasti (Uhrlaß et al., 2018). Z Egypta a Íránu pocházejí záznamy o infekcích velbloudů (Uhrlaß et al., 2018). V posledním desetiletí se zdrojem lidských infekcí začínají stávat stále častěji kočky a psi, na které je *T. quinckeanum* pravděpodobně přenášen z hlodavců. Kočky tedy nejsou jen hostiteli tradičních patogenů jako *Microsporum canis* a *T. mentagrophytes*, ale také *T. quinckeanum* (Uhrlaß et al., 2018). U hlodavců *T. quinckeanum* způsobuje favus (de Hoog et al., 2020), podobně jako *T. schoenleinii* u člověka. Na rozdíl od *T. schoenleinii*, který je u člověka hlavně původcem favu, postihuje *T. quinckeanum* převážně hladkou kůži a způsobuje zánětlivé kožní léze typu tinea corporis a tinea cruris (Uhrlaß et al., 2018). Vzácně může ale také způsobit favus u lidských pacientů (Blank, 1957) nebo jemu podobné léze připomínající skutuly (nažloutlé pohárkovité krusty) (Uhrlaß et al., 2018), které byly kromě vlasaté části hlavy (tinea capitis) také popsány na rtu, uchu nebo nosu (Blank et al., 1961; Lysková et al., 2021). Mohou se vyvinout formy hyperkeratózy i hnisavé léze podobné abscesu (Lysková et al., 2021; Nenoff et al., 2018; Uhrlaß et al., 2018).

### **3.2.4. Ostatní druhy komplexu *T. simii***

Izoláty druhu *T. langeronii* pochází z kůže velblouda ze Saudské Arábie (Milochevitch, 1931), *T. sarkisovii* z kůže velblouda z Kazachstánu (Ivanova, 1983). Druh *T. papillosum* byl původně izolován z mladého skotu ve Francii (Lebasque, 1934).

*Trichophyton depressum* byl popsán z kůže mezi lopatkami u francouzské pacientky, která pravděpodobně v době infekce pobývala v Itálii<sup>1</sup> (MacCarthy, 1925).

### **3.3. Geografické rozšíření druhů komplexu *T. simii***

#### **3.3.1. *Trichophyton simii***

Za primární geografickou oblast rozšíření *T. simii* je nejčastěji považován indický subkontinent (Gugnani et al., 1968; Padhye, 1967). První nálezy pochází z opic, drůbeže a psa z Indie (Gugnani et al., 1968) a z Indie též pochází velké část dalších nálezů. Druh byl ale izolován takřka po celém světě, což naznačuje, že geografické rozšíření není tak omezené, jak se původně předpokládalo (Beguin et al., 2013). Druh byl izolován v Brazílii (Londero, 1972), následně v USA z dívky, která navštívila indické Dillí (Rippon et al., 1968), ve Francii z morčete, dvou psů a kočky (Chermette et al., 1986), dále v Saudské Arábii převážně z dětských pacientů (Venugopal et al., 1992), v Argentině z opic (Boehringer, 1998), v Íránu z pacienta s tinea corporis (Zarei Mahmoudabadi et al., 2008), v Belgii z případu onychomykózy, tinea corporis a pudy (Beguin et al., 2013) a Japonsku z drůbeže (Yamaguchi, 2019; Yamaguchi et al., 2014). Druh byl také izolován z pláže ve Francii (Vermeil et al., 1975).

Nejnověji byl *T. simii* zachycen v nemocnici v Džajpuru (Indie), kde infekci (tinea corporis) úspěšně léčili pomocí esenciálního oleje z *Eugenie caryophyllata* (hřebíček), který má silnou antimykotickou aktivitu (Jain et al., 2019). V roce 2022 byl druh poprvé popsán z případu otomykózy (postihuje zevní zvukovod) způsobené *T. simii* u kanadského pacienta, který uváděl kontakt s opicí v Indii (Krajden et al., 2022).

#### **3.3.2. *Trichophyton schoenleinii***

*Trichophyton schoenleinii* byl v 18. století v Evropě rozšířeným původcem rodinných epidemií (Havlickova et al., 2008). V minulosti měl celosvětový výskyt a byl zaznamenán v různých regionech Evropy, Asie a Ameriky. Jeho přítomnost byla spojena

---

<sup>1</sup> Pacientka se pravděpodobně nakazila v Itálii, kde před vyšetřením trávila několik měsíců MacCarthy, L. (1925). Sur un cas de trichophytie de la peau glabre due à un *Trichophyton nouveau*, *Trichophyton depressum*. *Annales de Dermatologie et de Syphiligraphie*, Série 6, 184-190.

s migrací, například s návratem vojáků z Blízkého východu do Evropy a přistěhovalectvím z Evropy do Ameriky. Rozšíření druhu v severní Africe a na Blízkém východě naznačuje vliv obchodních cest spojujících tyto regiony s Evropou (Ajello, 1974; Philpot, 1978).

V Severní Americe existovalo na začátku 20. století několik ohnisek tinea capitis favus, konkrétně v Kentucky (USA) a v Quebecu (Blank, 1962) a Montrealu (Kanada) (Ilkit, 2010; Rippon, 1988). Další se nacházelo v Jižní Americe se ohnisko nacházelo v okolí São Paula (Brazílie) a patogen byl zjištěn i v Argentině a Chile (Rippon, 1988).

V Evropě po druhé světové válce zlepšení životních podmínek a hygieny přispělo k téměř úplnému vymizení *T. schoenleinii* (Khaled et al., 2007). Tento pokles výskytu byl pozorován například i v Rumunsku, kde incidence *T. schoenleinii* během 60. let významně klesla ve srovnání s obdobím těsně po válce, kdy byl tento druh ještě relativně častý, zejména ve venkovských oblastech (Alteras et al., 1970). V 19 evropských zemích v roce 1997 Hay et al. (2001) identifikovali jako *T. schoenleinii* pouze 3 z 3 671 izolátů z případů tinea capitis. Tento trend potvrzuje zlepšení hygienických podmínek a pokles výskytu tohoto druhu v Evropě.

Ve 2. polovině 20. století byl druh *T. schoenleinii* dominantním dermatofytem způsobujícím tinea capitis na Blízkém východě, v Indii, Pákistánu, v některých částech Číny (Ilkit, 2010), Libyi (Malhotra et al., 1979), Nigérii (Nweze, 2001) a jižní části Afriky a v Grónsku (Ilkit, 2010). Tato ohniska byla z velké části vymýcena a v posledních desetiletích se výskyt omezil na Írán (Bassiri Jahromi et al., 2006), Nigérii (Nweze, 2001) a některé části Číny (Deng et al., 2008).

Výrazný pokles incidence nastal s příchodem antifungální farmakoterapie (Seebacher et al., 2008). Dnes se favus způsobený *T. schoenleinii* vyskytuje hlavně v geografických oblastech, kde je velká chudoba, špatná hygiena, podvýživa a velice omezený přístup k zdravotní péči (Khaled et al., 2007; Rippon, 1988). V evropských zemích mezi pacienty s tinea capitis, zahrnující děti i dospělé má nízkou prevalenci (Hay et al., 2001; Ilkit, 2010): Švédsko, Česká republika a Polsko 0 % (Hällgren et al., 2004; Kuklová et al., 2001; Nowicki, 1996), Itálie 0,3 % (Terragni et al., 1993), Německo a Španělsko 0,5 % (Rubio-Calvo et al., 2001; Tietz et al., 1999), Chorvatsko 1,5 % (Babić-Erceg et al., 2004)

### 3.3.3. *Trichophyton quinckeanum*

Zoofilní druh *T. quinckeanum* sdílí s antropofilním druhem *T. schoenleinii* klinickou podobnost infekcí a částečně i geografické rozšíření. Vyskytují se na Blízkém východě, Egyptě a v centrální Asii. V současné době je *T. quinckeanum* ve zvýšené míře izolován i ve středoevropských zemích, zejména v Německu (Uhrlaß et al., 2023; Uhrlaß et al., 2018), České republice (Lysková et al., 2021) a Polsku (Łagowski et al., 2022). V Německu nebyly po mnoho let zaznamenány žádné nebo jen sporadické zprávy o výskytu *T. quinckeanum*, které pocházejí ze 60. let 20. století. Jedním z důvodů může být i morfologická podobnost mezi *T. quinckeanum* a *T. mentagrophytes*, kvůli které je nutné využít k identifikaci molekulární metody (např. sekvenování ITS oblasti rDNA). V letech 2013–2017 Uhrlaß et al. (2018) izolovali v jediné laboratoři celkem 62 izolátů *T. quinckeanum*, 60 z nich pocházelo od pacientů s dermatomykózou, jeden izolát pocházel ze srsti infikované kočky a jeden z koně. Nejčastěji byla infekce na pacienty přenesena z koček (Uhrlaß et al., 2018). Počet infekcí způsobených *T. quinckeanum* se nepřetržitě zvyšoval od přelomu let 2014/2015 a vrcholu dosáhl během pandemie koronaviru. Z celkem 579 vzorků zoofilních dermatofytů zachycených ve sběrné laboratoři v Německu v letech 2020 a 2021 z pacientů napříč věkovými skupinami a typy dermatofytóz, byly nejvíce zastoupené druhy *T. benhamiae* 32,1 % (186), následně *T. mentagrophytes* 29,9 % (173), *T. quinckeanum* 19,0 % (110) a *M. canis* 13,5 % (78). *Trichophyton quinckeanum* způsobuje zejména tinea corporis, tinea capitis a tinea faciei (Uhrlaß et al., 2023). V Německu byla také poprvé hlášena nová sexuálně přenosná infekce tinea pubogenitalis způsobená *T. quinckeanum* (Burmam et al., 2022).

V České republice, i přes ověřování druhové identifikace pomocí ITS sekvenování, nebyly zjištěny mezi lety 2012–2015 žádné infekce způsobené *T. quinckeanum*. Naproti tomu bylo mezi lety 2016–2020 zaznamenáno 25 případů infekce u lidí a 11 případů u zvířat. Lokální ohnisko mělo centrum v Olomouckém kraji, ze kterého pochází většina případů. Patogen byl častěji izolován u žen (72 %) a infekce se projevovala převážně jako tinea corporis a tinea cruris (69,2 %). Lysková et al. (2021) uvedli, že převážná většina lidských infekcí byla pravděpodobně přenesena z nakažených koček a psů, mezi nimiž se infekce šířila částečně nezávisle na hlodavcích (Lysková et al., 2021).

**Tabulka 1.** Rozšíření, epidemiologické a klinické charakteristiky druhů *Trichophyton simii* komplexu

Epidemiologické a klinické charakteristiky	<i>T. quinckeanum</i>	<i>T. simii</i>	<i>T. schoenleinii</i>
Výskyt v minulosti (poválečná situace)	Blízký východ, Egypt, centrální Asie	převážně Indický subkontinent	Blízký východ, Indie, Pákistán, částečně Čína, Evropa, Libye, Nigérie, části jižní Afriky a Grónsko
Aktuální výskyt (studie po roce 2000)	Německo, Česká republika, Polsko	celosvětový výskyt (sporadické případy)	Čína, Nigérie, Írán
Nejčastější klinická manifestace	tinea corporis	tinea corporis/ capitis/ cruris/ unguinum	tinea capitis (favus)
Hlavní hostitelé	hlodavci, kočky, psi, velbloudi, člověk	primáti, drůbež, psi, drobní savci, člověk	člověk

Zdroje (Beguin et al., 2013; Deng et al., 2008; Gao et al., 2019; Gugnani et al., 1968; Gugnani et al., 1975; Ilkit, 2010; Łagowski et al., 2022; Lysková et al., 2021; Malhotra et al., 1979; Nweze, 2001; Padhye, 1967; Seebacher et al., 2008; Seyedmousavi, 2018; Uhrlaß et al., 2023; Uhrlaß et al., 2018)

## 4. Charakteristiky druhů komplexu *Trichophyton simii*

### 4.1. Rod *Trichophyton*

Rod *Trichophyton* obsahuje primárně patogenní antropofilní i zoofilní druhy, které mají ve většině případů jednoho nebo několik hostitelských druhů (Hubka, Peano, et al., 2018), ale většinou si zachovávají schopnost nakazit různě široké spektrum dalších druhů zvířat.

U zástupců rodu *Trichophyton* jsou kolonie nejčastěji voskovité, hladké nebo vláknité (de Hoog et al., 2020; Fragner et al., 1990). Jejich barva se pohybuje od bílé přes nažloutlou nebo krémovou až po hnědou. Barva reverzu kolonie mívá tmavší barvu, např. může být krémová, hnědá, červená, fialová nebo žlutá. *Trichophyton* má tři druhy

nepohlavních spor – makrokonidie, mikrokonidie a arthrokonidie. Pohlavním stádiem bývá u heterothalických druhů gymnothécium s přívěsky; homothalické druhy nejsou známy (de Hoog et al., 2020). Schopnost pohlavně se rozmnožovat však řada antropofilních a zoofilních druhů ztratila (White et al., 2008). Pokud jsou přítomny konidie, rostou terminálně nebo přisedle na nediferencovaných hyfách, případně na hroznovitě větvených konidioforech. Makrokonidie, pokud jsou vytvářeny, mají dvě nebo více buněk, obvykle jsou tenkostěnné, hyalinní, mají hladký povrch a válcovitý, kyjovitý nebo doutníkovitý tvar. Mikrokonidie jsou v porovnání s makrokonidii většinou produkovány v mnohem větším množství, mají hladkou a tenkou stěnu, jsou jednobuněčné a jejich tvar je kulovitý, vejčitý nebo hruškovitý (de Hoog et al., 2020).

## **4.2. Morfologické charakteristiky**

Druhy *T. simii*, *T. quinckeanum* a *T. schoenleinii* byly v minulosti řazeny do komplexu *T. mentagrophytes*, proto je vhodné zmínit rozdíly od současného pojetí tohoto druhu. Druhy *T. simii* komplexu byly také v minulosti často s *T. mentagrophytes* zaměňovány, což znesnadňuje porovnávání historických údajů o těchto druzích se současnými daty, pokud se nezachoval materiál v podobě kultur.

### **4.2.1. *Trichophyton mentagrophytes***

*Trichophyton mentagrophytes* má práškovité až vločkovité kolonie, krémové až žlutavě hnědé barvy, reverz bývá okrový až červenohnědý, žlutý nebo tmavě hnědý. Makrokonidie jsou hladkostěnné a tenkostěnné, 3–8 buněčné, mají kyjovitý až doutníkovitý tvar a velikost v rozmezí 20–50 × 6–8 μm. Obvykle nejsou produkovány v příliš vysokém počtu. Mikrokonidie mají kulovitý tvar, jejich velikost je v průměru 2 μm, jsou přisedlé na hyfách, nebo uspořádané v hustých hroznovitých shlucích. Často se vyskytují spirálovitě stočené hyfy (Gräser et al., 1999). Příležitostně jsou přítomny i chlamydozpy (de Hoog et al., 2020).

*Trichophyton mentagrophytes* je primárně považovaný za zoofilní dermatofyt, který je spojen s infekcemi u různých zvířecích hostitelů. Některé linie v tomto komplexu jsou ale více či méně striktně antropofilní. Nevyjasněný vztah *T. mentagrophytes* s *Trichophyton interdigitale* a *Trichophyton indotineae* (antropofilní druhy) komplikuje jeho

klasifikaci (Švarcová et al., 2023). U lidí se infekce může projevit nejčastěji jako tinea corporis nebo také jako tinea barbae a tinea capitis (Frías-De-León et al., 2020). Hlavní hostitelé *T. mentagrophytes* jsou králíci, hlodavci, kočky a psi. V případě psů a koček se jedná zejména o venku žijící a toulavá zvířata (Hubka, Peano, et al., 2018). Zejména na malé děti, ale i dospělé se často přenáší nákazy z domácích mazlíčků (de Hoog et al., 2020).

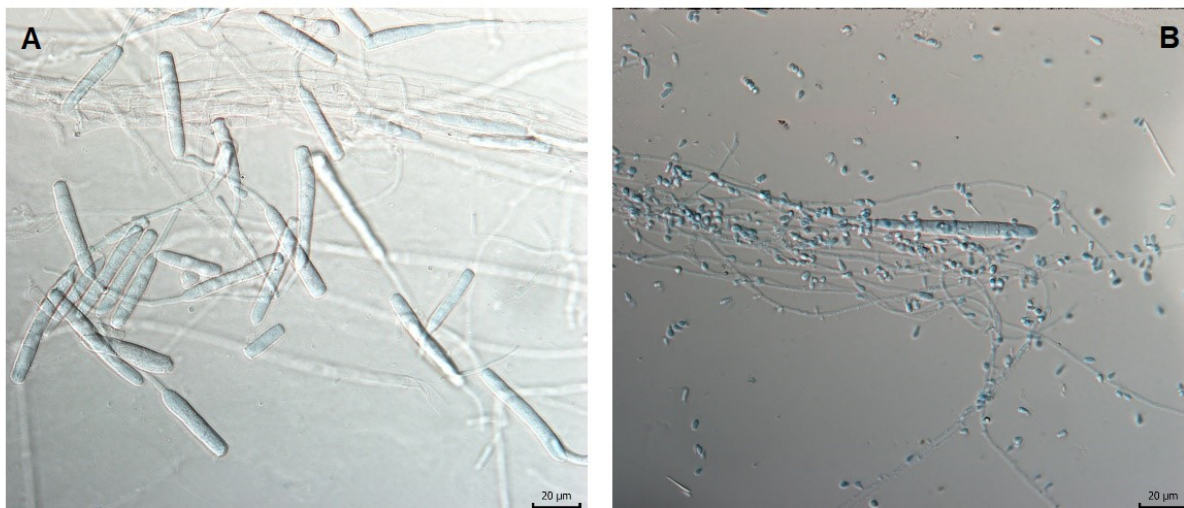
U *T. mentagrophytes* se můžeme setkat s profesními infekcemi, např. u zemědělců, pracovníků v živočišné výrobě, laboratorních pracovníků a dalších profesí, vyžadujících kontakt se zvířaty (McAller, 1980). Zverimexy se zvířaty zájmového chovu mohou být ohniskem zoonotických onemocnění (Halsby et al., 2014). Prevalence v králičích farmách může být extrémně vysoká, např. studie v jižní Itálii, do které bylo zahrnuto 23 farem v letech 2006–2007, detekovala *T. mentagrophytes* u 388 z 810 zvířat (prevalence 47,9 %) (Cafarchia et al., 2010).

#### **4.2.2. *Trichophyton quinckeanum***

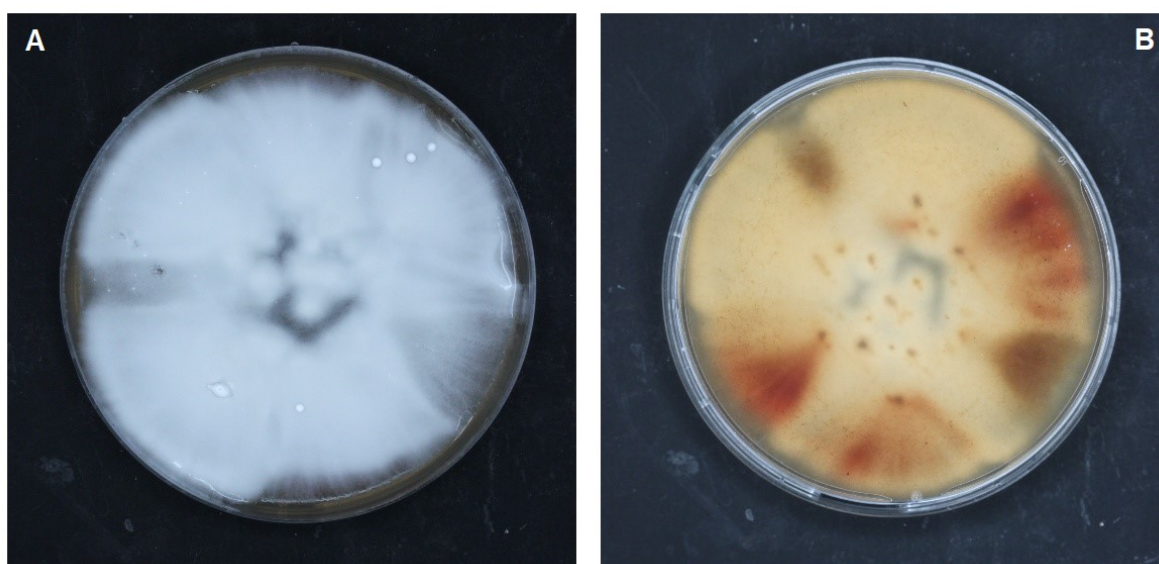
*Trichophyton quinckeanum* má bílé, plstnaté kolonie (Obr. 2A). Reverzní strana může mít světle žlutou (de Hoog et al., 2020) nebo hnědočervenou až vínově červenou barvu (Uhrlaß et al., 2018) (Obr. 2B). Makrokonidie mají velikost 39–57 × 4.5–8 µm, jsou vícebuněčné (3–8 buněk), tenkostěnné, mají kyjovitý nebo doutníkovitý tvar (Obr. 1A). Mikrokonidie jsou četné, protáhlé, mají kapkovitý až hruškovitý tvar a velikost v rozmezí 2,5–5.5 × 2–3,5 µm (Obr. 1B) (Ghfil et al., 2024). Jsou tvořeny jednou nebo dvěma buňkami a nacházejí se laterálně podél septovaných hyf v různé hustotě a nepravidelném uspořádání na nevětvěných konidioforech (= konidiogenní hyfy). Ve starších koloniích se vytvářejí spirálovité hyfy, podobně jako u *T. mentagrophytes*. Po inkubaci dlouhé několik týdnů se u některých kmenů vytvářejí sterilní útvary připomínající plodnice (pseudo-askomata, pseudo-plodnice) (Uhrlaß et al., 2018).

Tento druh je pravděpodobně poddiagnostikován. Při běžných diagnostických testech lékařů v ordinacích a v nemocnicích bývá většinou nesprávně určen jako *T. mentagrophytes* (Uhrlaß et al., 2018).





**Obrázek 1.** Mikroskopické znaky *Trichophyton quinckeanum* A) Makrokonidie, kmen CCF 6550, foto B. Holakovská; B) septovaná makrokonidie mezi hyfami a mikrokonidii přisedlými na hyfách, kmen CCF 6455, foto B. Holakovská.



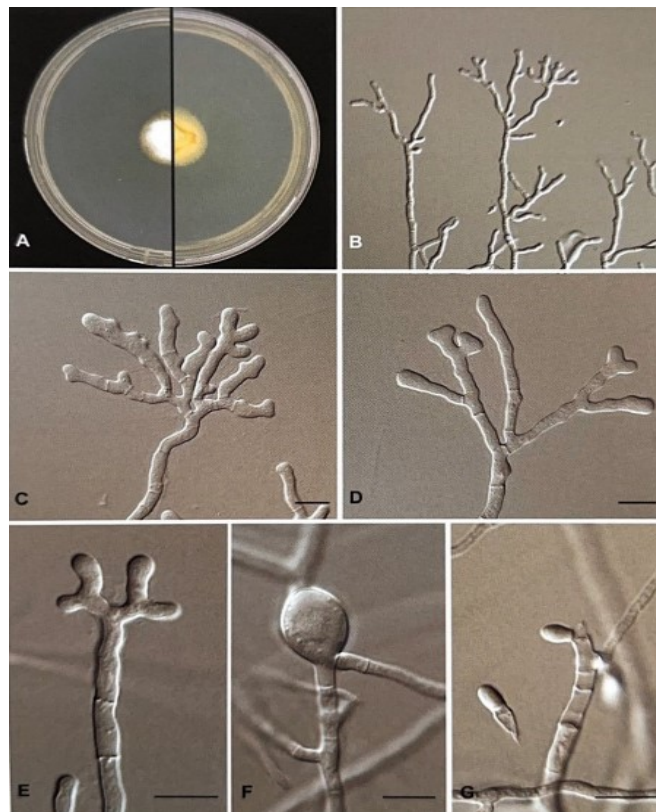
**Obrázek 2.** Makroskopické znaky *Trichophyton quinckeanum* A) Bílá, plstnatá svrchní strana kolonie, B) reverzní strana kolonie žluté až hnědé barvy, kmen CCF 6455, průměr Petriho misky 9 cm, kolonie po 12 dnech kultivace při 25 °C na SDA (Sabouraudův dextrózový agar), foto B. Holakovská

#### 4.2.3. *Trichophyton schoenleinii*

*Trichophyton schoenleinii* má voskovité, později sametové kolonie, které relativně pomalu rostou, a působí dojemem, jako by byly skládané, scvrklé nebo mozkovitě zprohýbané (cerebriformní). S přibývajícím stářím jsou kolonie kupovité a výrazně vystouplé nad povrch kultivačního média. Mají bělavou až krémovou barvu oproti reverzu,

kteřý je nezabarvený nebo světle žlutý (Obr. 3A). Makrokonidie a mikrokonidie zpravidla nejsou přítomny. Hyfy jsou dichotomicky větvené a mají charakteristický parohovitý tvar (de Hoog et al., 2020). Některými autory jsou tyto hyfy nazývány jako „favic chandeliers“ [svícnovitě větvená vlákna (Frágner et al., 1990)] kvůli terminální dilataci hyf, která je některými autory také připodobňována k hlavičkám hřebíků ("favic nails") (Anane et al., 2013) (Obr. 3B-E). Chlamydospory bývají přítomny v hojném počtu (Obr. 3F).

Při identifikaci *T. schoenleinii* může nastat záměna s *T. mentagrophytes*, jelikož některé jeho kmeny mohou vzácně vytvářet útvary podobné „favic chandeliers“ a chlamydospory. Na rozdíl od *T. schoenleinii*, produkuje *T. mentagrophytes* téměř vždy výrazně větší množství konidií a jeho růst je obecně rychlejší (de Hoog et al., 2020). Další záměna může být s *T. verrucosum*, jelikož *T. verrucosum* má pomalý růst a také vytváří charakteristické chlamydospory (Kane et al., 1978). Druhy se dají také odlišit růstem na T1 agaru, na kterém *T. schoenleinii* neroste na rozdíl od *T. verrucosum* (Summerbell, 1997).

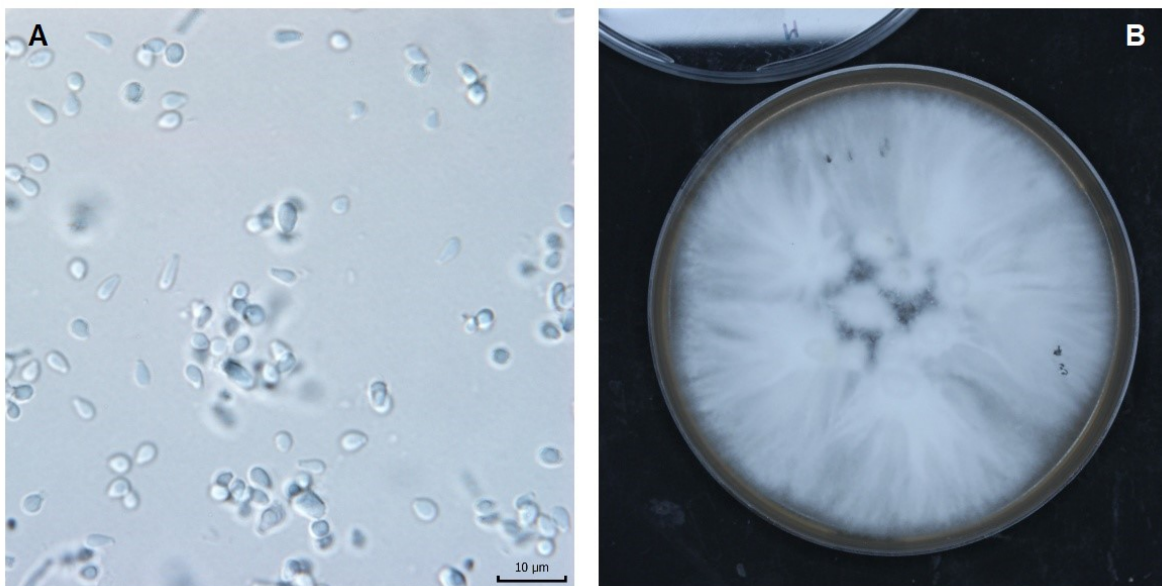


**Obrázek 3.** Makroskopické a mikroskopické znaky *Trichophyton schoenleinii*, kmen CBS 458.59. A) kolonie po 3 týdnech (SGA, 27 °C), vrchní strana a reverz B-E) parohovité hyfy; F) chlamydosporovitě zduřené hyfy; G) konidie; měřítko: 10 µm. Převzato z Atlas of Clinical Fungi (de Hoog et al., 2020).

#### 4.2.4. *Trichophyton simii*

Kolonie *T. simii* jsou zrnité s načechraným okrajem, mají bílou, žlutohnědou nebo světle okrovou barvu (Obr. 4B), spodní strana kolonií je žlutavá až lososová, někdy může přecházet až do vínové barvy. Makrokonidie jsou hladkostěnné, 5–10buněčné a jejich velikost se pohybuje v rozmezí 30–85 × 6–11 μm. Jednotlivé buňky makrokonidií často bobtnají a následně se uvolňují jako chlamydostry (de Hoog et al., 2020). Menší mikrokonidie přisedají na nediferencované hyfy a mají pyriformní, kapkovitý až kyjovitý tvar a velikost 1,5–3 × 2–6,5 μm (Weitzman et al., 1976) (Obr.4A).

*Trichophyton simii* je heterotalický druh tvořící askokarpy typu gymnothécium (Metin et al., 2017). Plodnice jsou bílé až okrové, stěna je tvořena sítí jednostranně větvených peridiálních hyf, skládajících se z buněk s tlustými a drsnými stěnami, jež končí hyalinním, tenkostěnným a spirálovitě stočeným přívěskem. Vřečka mají polokulovitý až elipsoidní tvar o průměru až 6 μm, jsou tenkostěnná a obsahují 8 askospor. Askospory jsou částečně průsvitné, čočkovité, široké přibližně 3 μm (de Hoog et al., 2020).



**Obrázek 4.** Mikroskopické a makroskopické znaky *Trichophyton simii*. A) kapkovité mikrokonidie *T. simii*, kmen CCF 6689; B) vrchní strana kolonie, kmen CCF 6689; průměr Petriho misky 9 cm, kolonie po 12 dnech kultivace při 25 °C na SDA, foto B. Holakovská.

**Tabulka 2:** Porovnání morfologie spor

Morfologické charakteristiky	<i>T. quinckeanum</i>	<i>T. simii</i>	<i>T. schoenleinii</i>
Velikost makrokonidií	39–57 × 4,5–8 µm	30–85 × 6–11 µm	zpravidla nejsou přítomny
Tvar makrokonidií	kyjovité, doutníkovité	válcovité až vřetenovité	zpravidla nejsou přítomny
Velikost mikrokonidií	2,5–5,5 × 2–3,5 µm	1,5–3 × 2–6,5 µm	zpravidla nejsou přítomny
Tvar mikrokonidií	kulovité, oválné, hruškovité, kapkovité	hruškovité, kapkovité, kyjovité	zpravidla nejsou přítomny
Četnost chlamydospor	ojedinělé	neuveďeno	větší počet chlamydospor
Chlamydospory	neuveďeno	interkalární nebo vznikající z buněk makrokonidie	neuveďeno

Zdroje (de Hoog et al., 2020; Frágner et al., 1990; Ghfil et al., 2024; Uhrlaß et al., 2018; Weitzman et al., 1976)

## 5. Morfologické, biochemické a fyziologické rozdíly mezi druhy *T. simii* komplexu

Mezi fenotypové znaky užívané k rozlišování dermatofytů řadíme morfologii kolonií, rychlost jejich růstu, optimální, minimální a maximální teploty růstu, produkce mikrokonidií a makrokonidií, tvar a velikost konidií, reprodukční strategie, znaky na pohlavním stádiu (velikost plodnic, morfologie peridiálních hyf a přívěšků, tvar a velikost věceck a askospor) a další testy užívané u dermatofytů.

*Trichophyton simii* a *T. schoenleinii* rostou na médiu obsahující kasein. Ureázový test (schopnost produkovat enzym ureázu) u *T. schoenleinii* vykazuje proměnlivé výsledky v závislosti na testovaném kmenu, naproti tomu *T. quinckeanum* a *T. simii* vykazují konstantně pozitivní výsledek testu a ureázu tedy tvořit dovedou (de Hoog et al., 2020). Schopnost růst na většině médií "Trichophyton agar 1–7" mají všechny tři druhy, s výjimkou Trichophyton agaru 1 [hydrolyzovaný kasein bez přídavku vitamínů (Georg et al., 1957; Gräser et al., 1999)], kde *T. schoenleinii* neroste, což může pomoci při jeho odlišení.

*Trichophyton quinckeanum* vykazuje variabilní výsledky při testu perforace vlasů, za to *T. schoenleinii* a *T. simii* dokážou vlasy in vitro perforovat (Gümral et al., 2013; Raubitschek et al., 1963). *Trichophyton quinckeanum* neumí využívat D-sorbitol jako zdroj uhlíku (de Hoog et al., 2020). U ostatních druhů toto de Hoog et al. (2020) neuvádí.

Růst při teplotě 37 °C dokážou všechny tři druhy komplexu, tedy *T. simii*, *T. quinckeanum* a *T. schoenleinii* (de Hoog et al., 2020). V rozmezí 25–28 °C rostou na SGA kolonie druhu *T. schoenleinii* velmi pomalu bez produkce makrokonidií a mikrokonidií (de Hoog et al., 2020; Gao et al., 2019) a často praskají (Deng et al., 2008). Oproti *T. schoenleinii* rostou kolonie *T. simii* a *T. quinckeanum* velmi rychle (Blank et al., 1961; de Hoog et al., 2020; Stockdale et al., 1965).

**Tabulka 3:** Biochemické a fyziologické rozdíly druhů *Trichophyton simii* komplexu

Biochemické a fyziologické charakteristiky	<i>T. quinckeanum</i>	<i>T. simii</i>	<i>T. schoenleinii</i>
Růst při 37 °C	+	+	+
Štěpení kaseinu	?	+	+
Ureázová aktivita	+	+	+/-
Trichophyton agar 1	+	+	-
Trichophyton agar 2–7	+	+	+
Perforace vlasu	+/-	+	+
Rychlost růstu (25–28 °C, SGA)	velmi rychlý	velmi rychlý	velmi pomalý

Zdroje (Blank et al., 1961; de Hoog et al., 2020; Gao et al., 2019; Georg et al., 1957; Gümral et al., 2013; Raubitschek et al., 1963; Stockdale et al., 1965)



## 6. Fylogeneze a genetické odlišnosti

Genetická podobnost či rozdílnost druhů rodu *Trichophyton* se nejčastěji provádí srovnáním oblastí ITS rDNA. Sekvence ITS oblastí obsahuje i databáze spravovaná mezinárodním konsorciem lékařských mykologických laboratoří - “DNA barcoding<sup>2</sup> of human and animal pathogenic fungi” pod záštitou pracovní skupiny ISHAM-ITS Working Group, odborné společnosti ISHAM (International Society for Human and Animal Mycology). Databáze čítá přes 2800 ITS sekvencí, které reprezentují 421 druhů hub a je dostupná na webech <http://www.isham.org> a <http://its.mycologylab.org/> (Irinyi et al., 2015), na kterých je možné porovnávat získané ITS sekvence s aktualizovanou databází a získat spolehlivé určení. Do studie bylo zahrnuto 7 kmenů *T. simii*, 4 kmeny *T. schoenleinii* a 5 kmenů *T. quinckeanum* (*T. mentagrophytes* var. *quinckeanum*). U *T. simii* byla identifikována dvě polymorfní místa<sup>3</sup> v ITS sekvencích, což naznačuje určitý stupeň vnitrodruhové genetické variability. Naopak u *T. schoenleinii* a *T. quinckeanum* nebyla polymorfní místa zjištěna, což ukazuje na nízkou genetickou variabilitu těchto druhů. ITS sekvence v této studii byly dostatečné k odlišení *T. quinckeanum*, *T. simii* a *T. schoenleinii* od sebe navzájem. Dále autoři doporučují použití dalších markerů, jako např.  $\beta$ -tubulin a TEF-1 $\alpha$  (translation elongation factor 1 alpha), k přesnější identifikaci druhů z rodu *Trichophyton* (Irinyi et al., 2015).

Beguín et al. (2012) zkoumali fylogenetické vztahy mezi různými druhy v komplexu *T. mentagrophytes* pomocí sekvencí oblasti ITS, a genů pro  $\beta$ -tubulin a aktin. Studie odhalila, že kmeny druhů *T. quinckeanum* a *T. schoenleinii* jsou geneticky velmi blízce příbuzné, a že spolu s *T. simii* tvoří monofyletickou skupinu. Dále že dříve přijatý neotyp *T. mentagrophytes* (CBS 318.56) byl nesprávně určen, neboť tento kmen geneticky odpovídá *T. quinckeanum*, a je odlišný od zavedeného pojetí *T. mentagrophytes*. Výsledky rovněž ukázaly na bližší příbuznost *T. quinckeanum* s *T. simii*, než se dosud předpokládalo (Beguín et al., 2012), což potvrzují i úspěšná mezidruhová křížení mezi těmito druhy (Weitzman et al., 1976). U *T. quinckeanum* a *T. schoenleinii* se ITS sekvence lišily pouze

---

<sup>2</sup> DNA barcoding je metoda identifikace druhů založená na krátkých úsecích sekvence DNA, které by měly být co nejvíce podobné u jedinců stejného druhu, a naopak se musí co nejvíce lišit mezi druhy.

<sup>3</sup> Polymorfní místo je místo v sekvenci DNA, kde existuje variabilita mezi jednotlivými vzorky (např. rozdílné nukleotidy na dané pozici v DNA sekvenci)

3 nukleotidy a nebyla u nich zjištěna žádná vnitrodruhová variabilita. Tyto dva druhy byly pomocí ITS sekvencí odlišitelné od sebe navzájem, ale i od *T. simii* a od druhů *T. mentagrophytes* komplexu. Fylogeneze založená na genu pro aktin ukázala, že izoláty *T. simii* tvoří sesterský klad k *T. quinckeanum* a *T. schoenleinii*, a že se *T. simii* dá odlišit od *T. quinckeanum* a *T. schoenleinii*. Druhy *T. simii*, *T. quinckeanum* a *T. schoenleinii* nebylo možné rozlišit pomocí sekvence genu pro  $\beta$ -tubulin, protože sekvence všech kmenů s výjimkou jednoho izolátu byly identické (Beguín et al., 2012).

Jednu z nejvýznamnějších a nejucelenějších fylogenetických studií u dermatofytů publikovali de Hoog et al. (2017), kteří pro fylogenezi použili geny ITS, LSU (Large Subunit of rDNA, velká podjednotka ribozomální DNA),  $\beta$ -tubulin, TEF-1 $\alpha$  a gen 60S ribozomálního proteinu L10. Zjistili, že rod *Trichophyton* je polyfyletický. Autoři také ustanovili neotyp několika druhům *Trichophyton*, včetně *T. equinum*, *T. mentagrophytes*, *T. quinckeanum*, *T. schoenleinii*, *T. soudanense* a *T. verrucosum*. Dále studie ukázala, že kombinace markerů zejména ITS a  $\beta$ -tubulinu umožnila jasné rozdělení druhů *T. simii* komplexu (de Hoog et al., 2017).

Podle studie Uhrlaß et al. (2018) rozdíly v sekvenci oblasti ITS1 umožňují odlišení všech druhů komplexu od sebe navzájem, tedy *T. quinckeanum*, *T. simii* a *T. schoenleinii*, a také odlišení těchto druhů od *T. mentagrophytes*. Genetické rozdíly mezi *T. quinckeanum* a jeho nejbližším příbuzným druhem *T. schoenleinii* jsou velmi malé a zahrnují pouze indely o délce pouhých 2 bp v oblastech ITS1 a ITS2 (Uhrlaß et al., 2018). Na základě sekvence genu TEF-1 $\alpha$  není možné rozlišit *T. quinckeanum* a *T. schoenleinii*. *Trichophyton simii* odlišit od dvou zmíněných druhů možné je (Uhrlaß et al., 2018).

Nejnovější fylogenetickou studii publikovali Kandemir et al. (2022), kteří se zabývali celým řádem *Onygenales*. Jejich fylogeneze byla založena na analýze sekvencí ITS, LSU, TUB (tubulin), TEF-1 $\alpha$ , TEF3, RPB1 (RNA Polymerase II Largest Subunit), RPB2 (RNA Polymerase II Second Largest Subunit) a ribozomálního proteinu L10 pomocí Bayesovské analýzy a analýzy maximální věrohodnosti. Druhy *T. simii* komplexu ale zmiňují pouze okrajově, a to s ohledem na jejich ekologické vlastnosti – všechny tři druhy infikují kůži nebo nehty (Kandemir et al., 2022).

## 7. Molekulární metody identifikace druhů komplexu *Trichophyton simii*

Při identifikaci druhů rodu *Trichophyton* se v praxi využívají kromě fenotypových metod, které jsou nejméně spolehlivé, stále častěji molekulární metody jako MALDI-TOF hmotnostní spektrometrie (matrix-assisted laser desorption/ionization time-of-flight mass spectrometry), sekvenace DNA a další molekulárně genetické metody založené na PCR (polymerázová řetězová reakce, anglicky „polymerase chain reaction“).

Klíčovou metodou je PCR, při které dochází k amplifikaci specifických oblastí DNA. K identifikaci a detekci dermatofytů v praxi se využívá klasická PCR (nejčastěji následovaná sekvenací DNA), RT-PCR (reverzní transkripční PCR, anglicky „reverse transcription“), PCR-RFLP (polymorfismus délky restrikčních fragmentů, anglicky „restriction fragment length polymorphism“) nebo složitější metody např. PCR-ELISA (PCR s enzymově vázanou imunosorbentní analýzou, anglicky „enzyme linked immunosorbent assay“), PCR-RLB (PCR s reverzním lineárním blotem, anglicky „reverse line blot“) (Bergmans et al., 2008) nebo microarrays (Sato et al., 2010).

### 7.1. PCR

Studíí zabývajících se molekulární identifikací druhů komplexu *T. simii* je velmi málo, zvláště studií, které by zahrnovaly všechny tři hlavní druhy komplexu. Jednou z nejvyužívanějších metod pro identifikaci dermatofytů, včetně druhů komplexu *T. simii* je sekvenování ITS oblasti rDNA (viz kapitola 6). Kanbe et al. (2003) pomocí metody PCR-RFLP nedokázali odlišit *T. mentagrophytes* od *T. simii* a *T. quinckeanum* žádným použitých z restrikčních enzymů. Druh *T. schoenleinii* nebyl ve studii obsažen (Kanbe et al., 2003).

Uhrlaß et al. (2018) pomocí metody PCR ELISA, která je založená na amplifikaci cílové DNA a následné detekci pomocí enzymově vázaného imunosorbentního testu a sond cílících na gen topoizomerázu II, které původně vyvinuli (Winter et al., 2013), se nedá rozlišit *T. interdigitale*, *T. mentagrophytes*, *T. schoenleinii* a *T. quinckeanum*. Identifikace



jednotlivých druhů *T. simii* komplexu touto metodou tedy není možná a metoda je schopná pouze identifikovat komplex jako celek (Uhrlaß et al., 2018).

Bergmans et al. (2008) pomocí metody PCR-RLB, založené na ITS1 sekvencích a principu hybridizace PCR produktů se specifickými oligonukleotidovými sondami, nedovedli odlišit druhy komplexu od sebe navzájem a od *T. mentagrophytes*. *Trichophyton simii* a *T. schoenleinii* reagovali se sondou pro *T. mentagrophytes* (Bergmans et al., 2008). Další metody založené na PCR nebyly pro druhy *Trichophyton simii* komplexu vyvinuty, nebo byl zahrnut pouze jediný druh, a proto nejsou do této práce zahrnuty.

## 7.2. MALDI-TOF hmotnostní spektrometrie

MALDI-TOF hmotnostní spektrometrie, jedna z nejčastěji využívaných metod pro identifikaci hlavních dermatofytů v klinické praxi, je stále spojena s vyšší mírou chybovosti při rozpoznávání fylogeneticky příbuzných taxonů (Gräser, 2014), např. *T. quinckeanum* a *T. schoenleinii* (Packeu et al., 2013). Metoda je založena na ionizaci molekul vzorku pomocí laserového pulzu za přítomnosti speciální matrice, která absorbuje energii laseru. Výsledkem je analýza hmotnostních spekter vytvořená na základě doby letu urychlených ionizovaných částic. Výsledná hmotnostní spektra jsou porovnána s referenčními spektry uloženými v databázi a jsou často druhově specifická (Walková et al., 2018). Výhodou metody je, že většinou stačí kultury dermatofytů kultivovat pouze několik dní před vlastní analýzou, na rozdíl od identifikace pomocí morfologie, kdy se čeká na tvorbu charakteristických fenotypových znaků často i několik týdnů (Gräser, 2014).

L'Ollivier et al. (2013) využili systém Biotyper – Bruker Daltonics a doplnili databázi referenčních druhů o některé druhy dermatofytů, včetně *T. simii* (n = 1) a *T. schoenleinii* (n = 1). Z analýzy byl vynechán *T. quinckeanum*. Přestože 130/133 (97,8 %) klinických izolátů bylo správně identifikováno, metoda nedokázala rozlišit druhy z komplexu *T. mentagrophytes*, kam tehdy patřil i *T. simii* (L'Ollivier et al., 2013).

Packeu et al. (2013) se snažili identifikovat celý komplex *T. mentagrophytes* pomocí MALDI-TOF spektrometrie, včetně druhů *T. quinckeanum* (n = 6), *T. schoenleinii*

(n = 5) a *T. simii* (n = 2), které do komplexu v té době byly řazeny. Vytvořili referenční databázi spekter izolátů uložených ve sbírce BCCM/IHEM, přičemž pro vytvoření databáze bylo použito tří referenčních kmenů *T. quinckeanum*, zatímco dalších tří izolátů bylo využito k ověření přesnosti databáze. Pro každou analýzu použili tři biologická a dvě technická opakování, což umožnilo posoudit spolehlivost výsledků. Z výsledků vyplynulo, že u izolátů *T. quinckeanum* byla jedna z šesti identifikací chybná (*T. schoenleinii* místo *T. quinckeanum*, případ izolátu IHEM 13575). Naopak u *T. schoenleinii* a *T. simii* nebyla zaznamenána žádná chybná identifikace. Analýza všech opakování však ukázala, že občas došlo k chybným identifikacím, což zdůrazňuje důležitost provádění opakování při přípravě referenčních spekter. Chyby mezi *T. schoenleinii* a *T. quinckeanum* byly pravděpodobně způsobeny jejich velmi blízkou fylogenetickou příbuzností (Pacceu et al., 2013).

Suh et al. (2018) do studie zahrnuli 5 kmenů *T. quinckeanum*, 2 kmény *T. schoenleinii* a 2 kmény *T. simii*. Uvedli, že kmény *T. simii* byly všechny správně identifikovány, kdežto kmény *T. quinckeanum* a *T. schoenleinii* nebyly pomocí MALDI-TOF MS spolehlivě rozlišitelné (Suh et al., 2018).

Lysková et al. (2021) ve své studii o *T. quinckeanum* uvádí, že druh je spolehlivě rozeznatelný například od *T. benhamiae* var. *luteum* a komplexu *T. mentagrophytes/T. interdigitale* v hmotnostním rozmezí 4050–4200 m/z, ale například rozdíl mezi *T. quinckeanum* a *T. erinacei* bylo možné najít zejména ve vyšších hmotnostních rozmezích 7650–7800 m/z a 8050–8200 m/z (Lysková et al., 2021). Uhrlaß et al. (2018) také uvádí, že *T. quinckeanum* jde spolehlivě určit v hmotnostním rozmezí 7,900–8,400 m/z pomocí MALDI Biotyperu. Pro srovnání zahrnula druhy *T. benhamiae* a *T. mentagrophytes* (Uhrlaß et al., 2018).

## Závěr

Tato práce se zaměřila na komplex *Trichophyton simii*, zahrnující druhy *T. quinckeanum*, *T. schoenleinii* a *T. simii*, a poskytla přehled jejich taxonomického, ekologického, morfologického a genetického kontextu. Taxonomie dermatofytů prošla v posledních desetiletích významnými změnami. Původně byl komplex *T. simii* součástí širšího komplexu *T. mentagrophytes*, avšak další molekulární studie umožnily jeho vyčlenění jako samostatné skupiny. Některé druhy, jako například *T. schoenleinii*, jsou taxonomicky jednoznačně vymezeny, zatímco jiné, jako *T. simii*, vykazují nejasné ekologické postavení, což naznačuje potřebu dalších výzkumů.

Ekologická a geografická data ukazují na široké spektrum hostitelů a různorodé prostředí, ve kterém se tyto druhy vyskytují. *Trichophyton schoenleinii* je tradičně spojován s lidskými infekcemi vlasaté části hlavy typu favus v oblastech s nízkou hygienickou úrovní, zatímco *T. simii* má spíše sporadický výskyt a může být přenášen z primátů, domácích zvířat i půdy. *Trichophyton quinckeanum*, typicky přenášený z hlodavců, vykazuje vzrůstající počet případů přenosu na člověka prostřednictvím domácích zvířat, a to i v České republice.

Morfologické charakteristiky jednotlivých druhů byly detailně popsány, avšak mikroskopické znaky, jako je tvar konidií a hyfy, jsou v některých případech zavádějící. To platí zejména u druhů *T. simii* a *T. quinckeanum*, které vykazují morfologickou podobnost, a jejich rozlišení tak vyžaduje použití molekulárních metod. Moderní molekulární metody, jako PCR a MALDI-TOF hmotnostní spektrometrie, představují efektivní nástroje pro jejich rozlišení. Přesto však chybí studie, které by současně zohledňovaly všechny tři druhy *T. simii* komplexu a umožnily jejich přesné odlišení ve všech případech.

Celkově tato práce shrnula současné poznatky o komplexu *T. simii* a poukázala na jeho význam jako málo zkoumané skupiny dermatofytů. Zároveň zdůraznila potřebu dalších molekulárních studií zaměřených na podrobnější analýzu genetických rozdílů a na vývoj efektivnějších metod identifikace. Dosažené výsledky mohou sloužit jako výchozí bod pro budoucí výzkum a klinickou praxi.

## Seznam použité literatury

- Ajello, L. (1974). Natural history of the dermatophytes and related fungi. *Mycopathologia et Mycologia applicata*, 53, 93-110.
- Ajello, L., Bostick, L., & Cheng, S.-L. (1968). The relationship of *Trichophyton quinckeanum* to *Trichophyton mentagrophytes*. *Mycologia*, 60(6), 1185-1189.
- Ajello, L., & Cheng, S.-L. (1967). The perfect state of *Trichophyton mentagrophytes*. *Sabouraudia*, 5(3), 230-234.
- Alteras, I., & Cojocaru, I. (1970). Evolution of tinea capitis in Romania after World War II. *International Journal of Dermatology*, 9(2).
- Aly, R. (1994). Ecology and epidemiology of dermatophyte infections. *Journal of the American Academy of Dermatology*, 31(3), S21-S25.
- Anane, S., & Chtourou, O. (2013). Tinea capitis favosa misdiagnosed as tinea amiantacea. *Medical mycology case reports*, 2, 29-31.
- Attapattu, M. C. (1989). A study of tinea capitis in Sri Lanka. *Journal of Medical and Veterinary Mycology*, 27(1), 27-32.
- Babić-Erceg, A., Barišić, Z., Erceg, M., Babić, A., Borzić, E., Zoranić, V., & Kaliterna, V. (2004). Dermatophytoses in split and Dalmatia, Croatia, 1996–2002. *Mycoses*, 47(7), 297-299.
- Bassiri Jahromi, S., & Khaksar, A. (2006). Aetiological agents of tinea capitis in Tehran (Iran). *Mycoses*, 49(1), 65-67.
- Beguín, H., Goens, K., Hendrickx, M., Planard, C., Stubbe, D., & Detandt, M. (2013). Is *Trichophyton simii* endemic to the Indian subcontinent? *Medical mycology*, 51(4), 444-448.
- Beguín, H., Pyck, N., Hendrickx, M., Planard, C., Stubbe, D., & Detandt, M. (2012). The taxonomic status of *Trichophyton quinckeanum* and *T. interdigitale* revisited: a multigene phylogenetic approach. *Medical mycology*, 50(8), 871-882.
- Bergmans, A., Schouls, L., Van Der Ent, M., Klaassen, A., Böhm, N., & Wintermans, R. (2008). Validation of PCR–reverse line blot, a method for rapid detection and identification of nine dermatophyte species in nail, skin and hair samples. *Clinical Microbiology and Infection*, 14(8), 778-788.
- Blank, F. (1957). Favus of mice. *Canadian Journal of Microbiology*, 3(6), 885-896.
- Blank, F. (1962). Human favus in Quebec. *Dermatology*, 125(6), 369-381.
- Blank, F., Leclerc, G., & Telner, P. (1961). Clinical manifestations of mouse favus in man. *Archives of Dermatology*, 83(4), 587-597.
- Boehringer, S. I., Cicuta, M. E., Santa Cruz, A., Gómez, L., Patiño, E. M., Borda, J. T. (1998). *Trichophyton simii* en una colonia de monos „Caí” (Cebus apella), en la provincia de Corrientes, Argentina [*Trichophyton simii* in a "Caí" monkey (Cebus apella) colony in the province of Corrientes, Argentina. *Revista Iberoamericana de Micología*, 15(4), 300-301.
- Burmann, S.-N., Oellig, F., Gräser, Y., Michalowitz, A.-L., Paschos, A., & Kreuter, A. (2022). Sexually acquired pubogenital dermatophytosis induced by *Trichophyton quinckeanum*. *International journal of STD & AIDS*, 33(5), 508-510.
- Cafarchia, C., Camarda, A., Coccioli, C., Figueredo, L., Circella, E., Danesi, P., Capelli, G., & Otranto, D. (2010). Epidemiology and risk factors for dermatophytoses in rabbit farms. *Medical mycology*, 48(7), 975-980.
- Carlsaw, R. W. (1955). Favus of the scalp. Observations on the manner of spread. *British Journal of Dermatology*, 67(11), 392-396.
- Castellani, A., & Chalmers, A. J. (1919). Ascomycetes. In *Manual of Tropical Medicine* (pp. 978-1034).
- Cotchin, E., & Roe, F. J. (1967). Pathology of laboratory rats and mice. *Journal of Clinical Pathology*, 684.

- Cubells, J. R. E., Martínez, A. M. V., Leboráns, L. M., & de Miquel, V. A. (2016). Fluorescence microscopy as a diagnostic tool for dermatophytosis. *The American Journal of Dermatopathology*, 38(3), 208-210.
- Čmoková, A., Kolařík, M., Dobiáš, R., Hoyer, L. L., Janouškovcová, H., Kano, R., Kuklová, I., Lysková, P., Machová, L., & Maier, T. (2020). Resolving the taxonomy of emerging zoonotic pathogens in the *Trichophyton benhamiae* complex. *Fungal Diversity*, 104(1), 333-387.
- Čmoková, A., Rezaei-Matehkolaei, A., Kuklová, I., Kolařík, M., Shamsizadeh, F., Ansari, S., Gharaghani, M., Miňovská, V., Najafzadeh, M. J., & Nouripour-Sisakht, S. (2021). Discovery of new *Trichophyton* members, *T. persicum* and *T. spiraliforme* spp. nov., as a cause of highly inflammatory tinea cases in Iran and Czechia. *Microbiology Spectrum*, 9(2), e00284-00221.
- Dąbrowska, I., Dworecka-Kaszak, B., & Brillowska-Dąbrowska, A. (2014). The use of a one-step PCR method for the identification of *Microsporum canis* and *Trichophyton mentagrophytes* infection of pets. *Acta Biochimica Polonica*, 61, 375-378.
- de Hoog, G. S., Dukik, K., Monod, M., Packeu, A., Stubbe, D., Hendrickx, M., Kupsch, C., Stielow, J. B., Freeke, J., & Göker, M. (2017). Toward a novel multilocus phylogenetic taxonomy for the dermatophytes. *Mycopathologia*, 182, 5-31.
- de Hoog, G. S., Guarro, J., Gené, J., & Figueras, M. J. (2020). *Atlas of clinical fungi* (4th ed. ed.). Foundation Atlas of Clinical Fungi. <https://www.atlasclinicalfungi.org/>
- Degreef, H. (2008). Clinical forms of dermatophytosis (ringworm infection). *Mycopathologia*, 166, 257-265.
- Deng, S., Bulmer, G., Summerbell, R., De Hoog, G., Hui, Y., & Gräser, Y. (2008). Changes in frequency of agents of tinea capitis in school children from Western China suggest slow migration rates in dermatophytes. *Sabouraudia*, 46(5), 421-427.
- Duarte, A., Castro, I., da Fonseca, I. M. P., Almeida, V., de Carvalho, L. M. M., Meireles, J., Fazendeiro, M. I., Tavares, L., & Vaz, Y. (2010). Survey of infectious and parasitic diseases in stray cats at the Lisbon Metropolitan Area, Portugal. *Journal of feline medicine and surgery*, 12(6), 441-446.
- Elewski, B. E. (1998). Onychomycosis: pathogenesis, diagnosis, and management. *Clinical microbiology reviews*, 11(3), 415-429.
- Elewski, B. E. (2000). Tinea capitis: a current perspective. *Journal of the American Academy of Dermatology*, 42(1), 1-20.
- Emmons, C. W. (1934). Dermatophytes: natural grouping based on the form of the spores and accessory organs. *Archives of Dermatology and Syphilology*, 30(3), 337-362.
- Farooqi, M., Tabassum, S., Rizvi, D. A., Rahman, A., Awan, S., & Mahar, S. A. (2014). Clinical types of tinea capitis and species identification in children: an experience from tertiary care centres of Karachi, Pakistan. *Journal of the Pakistan Medical Association*, 64(3), 304-308.
- Frágner, P. (1956). Příspěvek k proměnlivosti *Trichophyton gypseum* Bodin 1902. *Česká Mykologie*, 10(2), 105.
- Frágner, P., & Hejtmánek, M. (1990). *Určování dermatofytů*. Univerzita Palackého.
- Frías-De-León, M. G., Martínez-Herrera, E., Atoche-Diéguez, C. E., González-Cespón, J. L., Uribe, B., Arenas, R., & Rodríguez-Cerdeira, C. (2020). Molecular identification of isolates of the *Trichophyton mentagrophytes* complex. *International Journal of Medical Sciences*, 17(1), 45.
- Gao, Y., Zhan, P., Hagen, F., Menken, S. B., Sun, J., Rezaei-Matehkolaei, A., & de Hoog, S. (2019). Molecular epidemiology and in vitro antifungal susceptibility of *Trichophyton schoenleinii*, agent of tinea capitis favosa. *Mycoses*, 62(5), 466-474.
- Georg, L. K. (1953). Use of a cycloheximide medium for isolation of dermatophytes from clinical materials. *AMA Archives of Dermatology and Syphilology*, 67(4), 355-361.
- Georg, L. K., & Camp, L. B. (1957). Routine nutritional tests for the identification of dermatophytes. *Journal of Bacteriology*, 74(2), 113-121.

- Ghfil, Z. A. H. A., Mohammed, D. Y., & Alshammery, N. A. K. (2024). Epidemiological Study of the most Important Dermatophyte Infections in Musayyib General Hospital, Iraq. *Journal of University of Babylon for Pure and Applied Sciences*, 32(2), 11-23.
- Gräser, Y. (2014). Species identification of dermatophytes by MALDI-TOF MS. *Current Fungal Infection Reports*, 8(3), 193-197.
- Gräser, Y., Kuijpers, A., Presber, W., & Hoog, G. d. (1999). Molecular taxonomy of *Trichophyton mentagrophytes* and *T. tonsurans*. *Medical mycology*, 37(5), 315-330.
- Gräser, Y., Monod, M., Bouchara, J.-P., Dukik, K., Nenoff, P., Kargl, A., Kupsch, C., Zhan, P., Packeu, A., & Chaturvedi, V. (2018). New insights in dermatophyte research. *Medical mycology*, 56(suppl\_1), S2-S9.
- Grigoraki, L. (1925). Recherches cytologiques et taxinomiques sur les dermatophytes et quelques autres champignons parasites. In *Annales des Sciences Naturelles Botanique* (Vol. 7, pp. 165-444).
- Gruby, D. (1841). Mémoire sur une végétation qui constitue la vraie teigne. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 13, 72-75.
- Gugnani, H., Shrivastav, J., & Gupta, N. (1968). Occurrence of *Arthroderma simii* in soil and on hair of small mammals. *Sabouraudia: Journal of Medical and Veterinary Mycology*, 6(1), 77-80.
- Gugnani, H., Wattal, B., & Sandhu, R. (1975). Dermatophytes and other keratinophilic fungi recovered from small mammals in India. *Mycoses*, 18(12), 529-538.
- Guiart, J., & Grigoraki, L. (1928). La classification botanique des champignons des teignes. In *Lyon Médical: Gazette médicale et Journal de médecine réunis* (Vol. 141, pp. 369-378).
- Gümräl, R., Döğen, A., Durdu, M., & Ilkit, M. (2013). The use of albino adult hair and blond prepubertal hair yields equivalent results in an in vitro hair perforation test to differentiate between different dermatophytic fungi. *Mycopathologia*, 176, 23-31.
- Gupta, A., & Summerbell, R. (2000). Tinea capitis. *Medical mycology*, 38(4), 255-287.
- Hällgren, J., Petrini, B., & Wahlgren, C.-F. (2004). Increasing tinea capitis prevalence in Stockholm reflects immigration. *Medical mycology*, 42(6), 505-509.
- Halsby, K. D., Walsh, A. L., Campbell, C., Hewitt, K., & Morgan, D. (2014). Healthy animals, healthy people: zoonosis risk from animal contact in pet shops, a systematic review of the literature. *PLoS One*, 9(2), e89309.
- Havlickova, B., Czaika, V. A., & Friedrich, M. (2008). Epidemiological trends in skin mycoses worldwide. *Mycoses*, 51, 2-15.
- Hawksworth, D. L. (2011). A new dawn for the naming of fungi: impacts of decisions made in Melbourne in July 2011 on the future publication and regulation of fungal names. *IMA fungus*, 2, 155-162.
- Hay, R., Robles, W., Midgley, G., & Moore, M. (2001). Tinea capitis in Europe: new perspective on an old problem. *Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology*, 15(3), 229-233.
- Hubka, V., Čmoková, A., Peano, A., Větrovský, T., Dobiáš, R., Mallátová, N., Lysková, P., Mencl, K., Janouškovcová, H., & Stará, J. (2018). Zoonotické dermatofytózy: klinický obraz, diagnostika, etiologie, léčba, epidemiologická situace u nás. *Česko-slovenská dermatologie*, 93(6).
- Hubka, V., Peano, A., Cmokova, A., & Guillot, J. (2018). Common and emerging dermatophytoses in animals: well-known and new threats. *Emerging and epizootic fungal infections in animals*, 31-79.
- Chermette, R., & Bussieras, S. (1986). Isolation of *Trichophyton simii* in France, from a guineapig, two dogs and a cat. *Bulletin de la Société Française de Mycologie Médicale*, 15(1), 175-178

- Chermette, R., Ferreira, L., & Guillot, J. (2008). Dermatophytoses in animals. *Mycopathologia*, 166, 385-405.
- Chollet, A., Cattin, V., Fratti, M., Mignon, B., & Monod, M. (2015). Which fungus originally was *Trichophyton mentagrophytes*? Historical review and illustration by a clinical case. *Mycopathologia*, 180, 1-5.
- Ilkit, M. (2010). Favus of the scalp: an overview and update. *Mycopathologia*, 170(3), 143-154.
- Ilkit, M., & Durdu, M. (2015). Tinea pedis: the etiology and global epidemiology of a common fungal infection. *Critical reviews in microbiology*, 41(3), 374-388.
- Irinyi, L., Serena, C., Garcia-Hermoso, D., Arabatzis, M., Desnos-Ollivier, M., Vu, D., Cardinali, G., Arthur, I., Normand, A.-C., & Giraldo, A. (2015). International Society of Human and Animal Mycology (ISHAM)-ITS reference DNA barcoding database—the quality controlled standard tool for routine identification of human and animal pathogenic fungi. *Medical mycology*, 53(4), 313-337.
- Isa-Isa, R., Arenas, R., & Isa, M. (2010). Inflammatory tinea capitis: kerion, dermatophytic granuloma, and mycetoma. *Clinics in dermatology*, 28(2), 133-136.
- Ivanova, L. (1983). *Trichophyton sarkisovii* Ivanova et Polyakov sp. nov.—A new species of pathogenic fungus isolated from dermatomycosis of camel. *Mikologiya i Fitopatologiya*, 17, 363-367.
- Iwasa, K., Ogawa, K., Azukizawa, H., Tanabe, H., Iwanaga, T., Anzawa, K., Mochizuki, T., & Asada, H. (2019). Revival of favus in Japan caused by *Trichophyton schoenleinii*. *The Journal of Dermatology*, 46(4), 347-350.
- Jain, N., & Sharma, M. (2019). Topical application of *Eugenia caryophyllus* oil against ringworm infection of human beings. *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*, 12(7), 153-157.
- Kanbe, T., Suzuki, Y., Kamiya, A., Mochizuki, T., Kawasaki, M., Fujihiro, M., & Kikuchi, A. (2003). Species-identification of dermatophytes *Trichophyton*, *Microsporum* and *Epidermophyton* by PCR and PCR-RFLP targeting of the DNA topoisomerase II genes. *Journal of dermatological science*, 33(1), 41-54.
- Kandemir, H., Dukik, K., de Melo Teixeira, M., Stielow, J. B., Delma, F. Z., Al-Hatmi, A. M., Ahmed, S. A., Ilkit, M., & De Hoog, G. S. (2022). Phylogenetic and ecological reevaluation of the order *Onygenales*. *Fungal Diversity*, 115(1), 1-72.
- Kane, J., & Smitka, C. (1978). Early detection and identification of *Trichophyton verrucosum*. *Journal of clinical microbiology*, 8(6), 740-747.
- Kano, R., Kimura, U., Kakurai, M., Hiruma, J., Kamata, H., Suga, Y., & Harada, K. (2020). *Trichophyton indotineae* sp. nov.: a new highly terbinafine-resistant anthropophilic dermatophyte species. *Mycopathologia*, 185, 947-958.
- Khaled, A., Mbarek, L., Kharfi, M., Zeglaoui, F., Bouratbine, A., Fazaa, B., & Barek, M. K. (2007). Tinea capitis favosa due to *Trichophyton schoenleinii*. *Acta dermatovenerologica alpina panonica et adriatica*, 16(1), 34.
- Krajden, S., Summerbell, R. C., Datt, A., Hawke, M., & Scott, J. (2022). Monkey finger mycology? First case of otomycosis externa caused by *Trichophyton simii* after encounter with a monkey. *Medical mycology case reports*, 37, 17-18.
- Kuklová, I., Doležalová, J., Hamal, P., Svobodová, L., Koubková, J., & Kolařík, M. (2018). Zoonotické dermatofytózy: klinický obraz, diagnostika, etiologie, léčba, epidemiologická situace u nás. *Česko-slovenská dermatologie*, 93(6), 208–236.
- Kuklová, I., & Kučerová, H. (2001). Dermatophytoses in Prague, Czech Republic, between 1987 and 1998. *Mycoses*, 44(11-12), 493-496.
- Kupsch, C., Ohst, T., Pankewitz, F., Nenoff, P., Uhrlaß, S., Winter, I., & Gräser, Y. (2016). The agony of choice in dermatophyte diagnostics—performance of different molecular tests and culture in the detection of *Trichophyton rubrum* and *Trichophyton interdigitale*. *Clinical Microbiology and Infection*, 22(8), 735. e711-735. e717.

- L'Ollivier, C., Cassagne, C., Normand, A.-C., Bouchara, J.-P., Contet-Audonneau, N., Hendrickx, M., Fourquet, P., Coulibaly, O., Piarroux, R., & Ranque, S. (2013). A MALDI-TOF MS procedure for clinical dermatophyte species identification in the routine laboratory. *Medical mycology*, 51(7), 713-720.
- Łagowski, D., Gnat, S., Dyląg, M., & Nowakiewicz, A. (2022). Laboratory diagnosis and in vitro antifungal susceptibility of *Trichophyton quinckeanum* from human zoonoses and cats. *Antibiotics*, 11(6), 739.
- Langeron, M. O. (1923). Nouvelle classification des dermatophytes. In *Annales de Parasitologie Humaine Comparée* (Vol. 1, pp. 305-336).
- Lebasque, J. (1934). Recherches morphologiques et biologiques sur les *Trichophyton mégasporés* du cheval et du boeuf. *Annales de Parasitologie Humaine et Comparée*, 12(5), 418-444.
- Lebert, H. (1845). *Physiologie pathologique ou recherches cliniques, experimentales et microscopiques* (Vol. 2). J.-B. Baillière.
- Leung, A. K., Hon, K. L., Leong, K. F., Barankin, B., & Lam, J. M. (2020). Tinea capitis: an updated review. *Recent Patents on Inflammation & Allergy Drug Discovery*, 14(1), 58-68.
- Londero, A., Benevenga, Jeni P. (1972). *Trichophyton simii* its occurrence in Brazil. *Revista do Instituto de Medicina Tropical de Sao Paulo*, 14(6), 381-383.
- Lysková, P., Dobiáš, R., Čmoková, A., Kolařík, M., Hamal, P., Šmatláková, K., Hušek, J., Mencl, K., Mallátová, N. a., & Poláčková, Z. (2021). An outbreak of *Trichophyton quinckeanum* zoonotic infections in the Czech Republic transmitted from cats and dogs. *Journal of Fungi*, 7(9), 684.
- MacCarthy, L. (1925). Sur un cas de trichophytie de la peau glabre due à un *Trichophyton nouveau*, *Trichophyton depressum*. *Annales de Dermatologie et de Syphiligraphie, Série 6*, 184-190.
- Malhotra, Y., Garg, M., Kanwar, A., & Nagrajan, S. (1979). A study of tinea capitis in Libya (Benghazi). *Sabouraudia*, 17(3), 181-183.
- Matte, S. M., Lopes, J. O., Melo, I. S., & COSTA BEBER, A. A. (1997). A focus of favus due to *Trichophyton schoenleinii* in Rio Grande do Sul. *Revista do Instituto de Medicina Tropical de Sao Paulo*, 39, 1-4.
- McAller, R. (1980). An epizootic in laboratory guinea pigs due to *Trichophyton mentagrophytes*. *Australian Veterinary Journal*, 56(5), 234-236.
- McNeill, J., Barrie, F., Buck, W., Demoulin, V., Greuter, W. e., Hawksworth, D., Herendeen, P., Knapp, S., Marhold, K., & Prado, J. (2012). *International Code of Nomenclature for algae, fungi and plants (Melbourne Code)* (Vol. 154). Koeltz Scientific Books Königstein.
- Metin, B., & Heitman, J. (2017). Sexual reproduction in dermatophytes. *Mycopathologia*, 182(1), 45-55.
- Milochevitch, S. (1931). Sur un cas de Trichophytie produit par une espèce nouvelle de *Trichophyton T. langeroni* N. SP. In *Annales de Parasitologie Humaine et Comparée* (pp. 456-461).
- Moriello, K. A. (2001). Diagnostic techniques for dermatophytosis. *Clinical techniques in small animal practice*, 16(4), 219-224.
- Nenoff, P., Herrmann, J., & Gräser, Y. (2007). *Trichophyton mentagrophytes* sive interdigitale? A dermatophyte in the course of time. *JDDG: Journal der Deutschen Dermatologischen Gesellschaft*, 5(3), 198-202.
- Nenoff, P., Uhrlaß, S., Bethge, A., Pöge, A., Krüger, C., Kohl, M., & Borte, M. (2018). Tinea capitis profunda durch *Trichophyton quinckeanum*. *Dermatologische Praxis und Dermatologie*, 24, 12-23.
- Nowicki, R. (1996). Dermatophytoses in the Gdansk area, Poland: a 12-year survey. *Mycoses*, 39(9-10), 399-402.
- Nweze, E. (2001). Etiology of dermatophytoses amongst children in northeastern Nigeria. *Medical mycology*, 39(2), 181-184.



- Ota, M., & Langeron, M. (1923). Nouvelle classification des dermatophytes. *Annales de Parasitologie Humaine et Comparée*, 1(4), 305-336.
- Packeu, A., Hendrickx, M., Beguin, H., Martiny, D., Vandenberg, O., & Detandt, M. (2013). Identification of the *Trichophyton mentagrophytes* complex species using MALDI-TOF mass spectrometry. *Medical mycology*, 51(6), 580-585.
- Padhye, A. A. T., M. J. (1967). Isolation of *Trichophyton simii* and *Cryptococcus neoformans* from soil in India. *Hindustan Antibiotics Bulletin*, 9(3), 155-157.
- Philpot, C. M. (1978). Geographical distribution of the dermatophytes: a review. *Epidemiology & Infection*, 80(2), 301-313.
- Pinoy, E. (1912). Sur une teigne cutanée du singe. In *Comptes rendus des séances de la Société de biologie et de ses filiales* (pp. 59).
- Piri, F., Zarei Mahmoudabadi, A., Ronagh, A., Ahmadi, B., Makimura, K., & Rezaei-Matehkolaei, A. (2018). Assessment of a pan-dermatophyte nested-PCR compared with conventional methods for direct detection and identification of dermatophytosis agents in animals. *Mycoses*, 61(11), 837-844.
- Pratiwi, F. D., & Setyaningrum, T. (2020). Gray patch tinea capitis caused by *Microsporum canis*. *Cermin Dunia Kedokteran*, 47(8), 611-614.
- Raubitschek, F., & Evron, R. (1963). Experimental invasion of hair by dermatophytes. *Archives of Dermatology*, 88(6), 837-845.
- Remak, R. (1845). *Diagnostische und pathogenetische Untersuchungen: in der Klinik des Herrn Geh. Rath's Dr. Schönlein, auf dessen Veranlassung angestellt und mit Benutzung anderweitiger Beobachtungen veröffentlicht* (Vol. 2). Hirschwald. <https://archive.org/details/b21713492/page/227/mode/1up?q=achorion>
- Rinaldi, M. G. (2000). Dermatophytosis: epidemiological and microbiological update. *Journal of the American Academy of Dermatology*, 43(5), S120-S124.
- Rippon, J. W. (1988). *Medical mycology; the pathogenic fungi and the pathogenic actinomycetes* (3rd ed.). WB Saunders.
- Rippon, J. W., Eng, A., & Malkinson, F. D. (1968). *Trichophyton simii* infection in the United States. *Archives of Dermatology*, 98(6), 615-619.
- Robert, R., & Pihet, M. (2008). Conventional methods for the diagnosis of dermatophytosis. *Mycopathologia*, 166, 295-306.
- Roos, T., Bordeaux, A., Gentzen-Luebbs, U., & Tietz, H. (2004). tinea corporis in a 13-year-old German girl due to *Trichophyton schoenleinii*. *Mycoses*, 47(11-12), 514-517.
- Rubio-Calvo, C., Gil-Tomas, J., Rezusta-Lopez, A., & Benito-Ruesca, R. (2001). The aetiological agents of tinea capitis in Zaragoza (Spain). *Mycoses*, 44(1-2), 55-58.
- Rudramurthy, S. M., & Shaw, D. (2017). Overview and update on the laboratory diagnosis of dermatophytosis. *Clinical Dermatology Review*, 1(Suppl 1), S3-S11.
- Sabouraud, R. J. A. (1910). *Les teignes*. Masson.
- Sato, T., Takayanagi, A., Nagao, K., Tomatsu, N., Fukui, T., Kawaguchi, M., Kudoh, J., Amagai, M., Yamamoto, N., & Shimizu, N. (2010). Simple PCR-based DNA microarray system to identify human pathogenic fungi in skin. *Journal of clinical microbiology*, 48(7), 2357-2364.
- Seebacher, C., Bouchara, J.-P., & Mignon, B. (2008). Updates on the epidemiology of dermatophyte infections. *Mycopathologia*, 166, 335-352.
- Seeliger, H. P. (1985). The discovery of *Achorion schoenleinii*. Facts and stories (Johann Lucas Schoenlein and Robert Remak). *Mykosen*, 28(4), 161-182.
- Seyedmousavi, S., De Hoog, G. S., Guillot, J., & Verweij, P. E. (2018). *Emerging and epizootic fungal infections in animals*. Springer International Publishing.
- Schönlein, J. L. (1839). Zur pathogenie der impetigines. *Archiv für Anatomie, Physiologie und wissenschaftliche Medizin*, 82, 1839.

- Stockdale, P. M., Mackenzie, D., & Austwick, P. (1965). *Arthroderma simii* sp. nov., the perfect state of *Trichophyton simii* (Pinoy) comb. nov. *Sabouraudia: Journal of Medical and Veterinary Mycology*, 4(2), 112-123.
- Sugiyama, M., Summerbell, R., & Mikawa, T. (2002). Molecular phylogeny of onygenalean fungi based on small subunit (SSU) and large subunit (LSU) ribosomal DNA sequences. *Studies in Mycology*, 47, 5-23.
- Suh, S.-O., Grosso, K. M., & Carrion, M. E. (2018). Multilocus phylogeny of the *Trichophyton mentagrophytes* species complex and the application of matrix-assisted laser desorption/ionization–time-of-flight (MALDI-TOF) mass spectrometry for the rapid identification of dermatophytes. *Mycologia*, 110(1), 118-130.
- Summerbell, R., Kane, J. (1997). The genera *Trichophyton* and *Epidermophyton*. In J. Kane, Summerbell, R., Sigler, L., Kraiden, S., Land, G. (Ed.), *Laboratory handbook of dermatophytes: a clinical guide and laboratory manual of dermatophytes and other filamentous fungi from skin, hair and nails* (pp. 131-193). Star Publishing.
- Sun, P. L., Hsieh, H. M., Ju, Y. M., & Jee, S. H. (2010). Molecular characterization of dermatophytes of the *Trichophyton mentagrophytes* complex found in Taiwan with emphasis on their correlation with clinical observations. *British Journal of Dermatology*, 163(6), 1312-1318.
- Švarcová, M., Větrovský, T., Kolařík, M., & Hubka, V. (2023). Defining the relationship between phylogeny, clinical manifestation, and phenotype for *Trichophyton mentagrophytes/interdigitale* complex; a literature review and taxonomic recommendations. *Medical mycology*, 61(5), myad042.
- Taylor, J. W. (2011). One fungus= one name: DNA and fungal nomenclature twenty years after PCR. *IMA fungus*, 2, 113-120.
- Terragni, L., Lasagni, A., & Oriani, A. (1993). Dermatophytes and dermatophytoses in the Milan area between 1970 and 1989: Dermatophyten und Dermatophytosen in Mailand und Umgebung zwischen 1970 und 1989. *Mycoses*, 36(9-10), 313-317.
- Tietz, H. J., Czaika, V., Ulbricht, H., & Sterry, W. (1999). Tinea capitis in Germany. A survey in 1998. *Mycoses*, 42, 73-76.
- Uhrlaß, S., Maysner, P., Koch, D., Mütze, H., Krüger, C., Schulze, I., & Nenoff, P. (2023). Zoophile Dermatophyten während der Corona-Pandemie in Deutschland. *Die Dermatologie*, 74(6), 430-439.
- Uhrlaß, S., Schroedl, W., Mehlhorn, C., Krüger, C., Hubka, V., Maier, T., Gräser, Y., Paasch, U., & Nenoff, P. (2018). Molecular epidemiology of *Trichophyton quinckeanum*—a zoophilic dermatophyte on the rise. *JDDG: Journal der Deutschen Dermatologischen Gesellschaft*, 16(1), 21-32.
- Ural, A., Ergenekon, G., & Kot, S. (1988). Tinea capitis favosa. A report on and analysis of 241 cases in Erzurum, Turkey. In E. Tumbay (Ed.), *FEMS Symposium on dermatophytes and dermatophytoses in man and animals (May 21–23)* (pp. 293-296). Bilgehan Publishing House.
- Venugopal, P. V., & Venugopal, T. V. (1992). Superficial mycoses in Saudi Arabia. *Australasian journal of dermatology*, 33(1), 45-48.
- Vermeil, C., Morin, O., & Visset, M. (1975). Medical mycology in western France: contribution of the Parasitology service of the University of Nantes (1963-1973). *Mycopathologia*, 55(2), 91-94.
- Verrier, J., & Monod, M. (2017). Diagnosis of dermatophytosis using molecular biology. *Mycopathologia*, 182, 193-202.
- Walková, R., Janouškovcová, H., Šnajdrová, M., Hubka, V., Čmoková, A., & Hrabák, J. (2018). Identifikace dermatofytů pomocí MALDI-TOF hmotnostní spektrometrie. *Czecho-Slovak Dermatology/Cesko-Slovenska Dermatologie*, 93(6).
- Weitzman, I., McGinnis, M., Padhye, A., & Ajello, L. (1986). The genus *Arthroderma* and its later synonym *Nannizzia*. *Mycotaxon*, 25(2), 505–518.

- Weitzman, I., & Padhye, A. (1976). Is *Arthroderma simii* the perfect state of *Trichophyton quinckeanum*? *Sabouraudia: Journal of Medical and Veterinary Mycology*, 14(1), 65-74.
- Weitzman, I., & Summerbell, R. C. (1995). The dermatophytes. *Clinical microbiology reviews*, 8(2), 240-259.
- White, T. C., Oliver, B. G., Gräser, Y., & Henn, M. R. (2008). Generating and testing molecular hypotheses in the dermatophytes. *Eukaryotic cell*, 7(8), 1238-1245.
- Winter, I., Uhrlaß, S., Krüger, C., Herrmann, J., Bezold, G., Winter, A., Barth, S., Simon, J., Gräser, Y., & Nenoff, P. (2013). Direktnachweis von Dermatophyten im klinischen Material bei Verdacht auf Onychomykose und Tinea pedis. *Hautarzt*, 64, 283-289.
- Yamaguchi, S. (2019). Endangered zoonotic fungal species from chicken (*Gallus gallus domesticus*). *Medical mycology journal*, 60(2), 45-49.
- Yamaguchi, S., Sano, A., Hiruma, M., Murata, M., Kaneshima, T., Murata, Y., Takahashi, H., Takahashi, S., Takahashi, Y., & Chibana, H. (2014). Isolation of dermatophytes and related species from domestic fowl (*Gallus gallus domesticus*). *Mycopathologia*, 178, 135-143.
- Zarei Mahmoudabadi, A., & Yaghoobi, R. (2008). Tinea corporis due to *Trichophyton simii*—a first case from Iran. *Sabouraudia*, 46(8), 857-859.
- Zopf, W. (1890). *Die Pilze in morphologischer, physiologischer, biologischer und systematischer Beziehung* (Vol. 1). E. Trewendt.