

Sraz studentů v 8:00 před laboratoří A5/108, s sebou plášť a přezutí

PRINCIP

Polyakrylamidová gelová elektroforéza v přítomnosti SDS (SDS-PAGE)

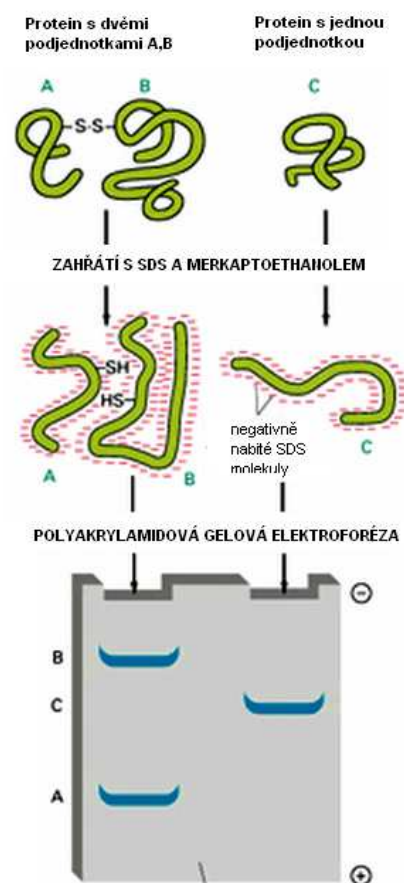
SDS-PAGE slouží k separaci proteinů na základě jejich molekulové hmotnosti. Zahřátím vzorku proteinů v denaturujícím a redukujícím pufru dochází k denaturaci proteinů včetně odstranění disulfidových můstků a jejich obalení molekulami dodecylsulfátu sodného (SDS), který udělí proteinům celkový záporný náboj. Je to dáno tím, že SDS se nekovalentně váže na proteiny v poměru 1,4 g SDS na 1 g bílkoviny. Po nanesení vzorku se záporně nabitými proteiny na gel a umístění gelu do elektrického pole migrují proteiny ke kladné elektrodě (anodě). Během této migrace jsou proteiny separovány na principu molekulového síta v polyakrylamidovém gelu (obrázek 1.). Po následné vizualizaci separovaných proteinů v gelu se dá určit jejich relativní molekulová hmotnost srovnáním vzdálenosti od startu migrace daného proteinu se směsí standardů o známé molekulové hmotnosti. Koncentrace monomeru použitého k přípravě gelu se volí podle velikosti proteinů, které chceme separovat. Nízká koncentrace se používá k separaci proteinů o vysoké molekulové hmotnosti, zatímco vysoká koncentrace se používá k separaci proteinů o malé molekulové hmotnosti (viz tabulka 1). Vlastní monomer je směsí akrylamidu a N,N'-metylenbisakrylamidu (BIS), který zajišťuje zesíťování struktury polymeru.

Tabulka 1. Separační schopnosti SDS-PAGE gelů

Koncentrace monomeru (akrylamid + BIS) [%T]	Oblast lineární separace [kDa]
15,0	12–43
10,0	16–68
7,5	36–94
5,0	57–212

V praxi se pro separace proteinů velmi často používá tzv. diskontinuální elektroforéza skládající se ze dvou gelů, koncentračního a separačního (obrázek 2). Tyto gely mají různá pH a také různou koncentraci monomeru. Koncentrační gel má pH cca 6,8, při kterém mají ionty glycinu ($pI=6,1$) obsažené v elektroforetickém pufru významně nižší mobilitu než při pH 8,8, které je nastaveno v separačním gelu. Díky tomu v koncentračním a separačním gelu panují odlišné separační podmínky. Kromě iontů glycinu se v systému nacházejí také anionty proteinů, anionty chloridu a kationty (protionty) TRIS (tris(hydroxymethyl)aminomethan).

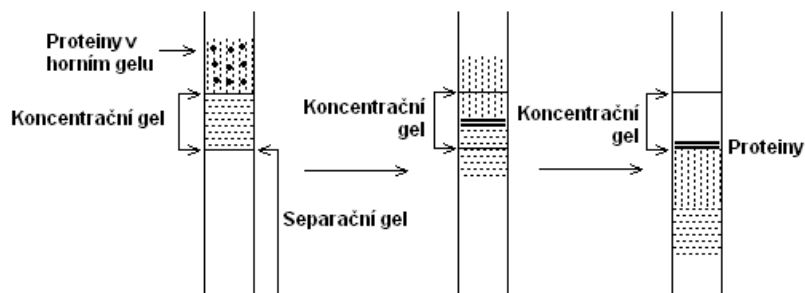
V prvním - koncentračním gelu se aniony řadí následovně dle mobility: 1. chloridy 2. proteiny 3. glycin. V této situaci (řídký gel) dochází k zúžení (isotachoforetickému



Obr. 1. Princip SDS PAGE separace

zakoncentrování) zóny proteinů díky tomu, že ionty glycinu tlačí „zezadu“ na zónu proteinů, která je zepředu ohraničena zónou chloridových aniontů. Díky tomu je zóna proteinů velmi dobře zúžena (zakoncentrována) před vstupem do separačního gelu.

Po vstupu do separačního gelu je pořadí mobilit anionů díky vyššímu pH a tím pádem zápornějšímu náboji glycinu a jeho vyšší mobilitě odlišné: 1. chloridy 2. glycin 3. proteiny. V této situaci již mobilita proteinů není zezadu ovlivňována jinými ionty a díky hustšímu separačnímu gelu se proteiny s různou molekulovou hmotností postupně separují na principu molekulového síta podle své molekulové hmotnosti.



Obr. 2. Princip diskontinuální elektroforézy

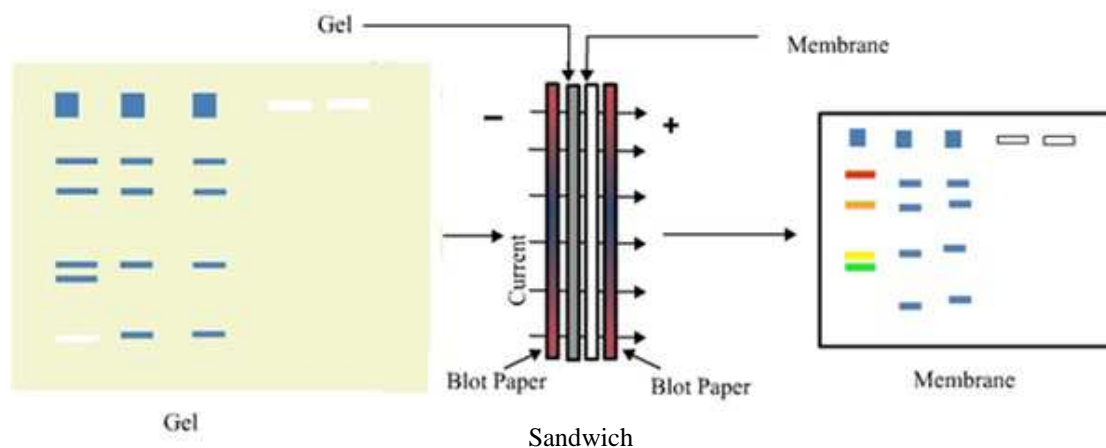
Vzorce pro výpočet podílu celkového monomeru (%T) v gelu a podílu crosslinkující složky (%C) v monomeru

$$\%T = \frac{m(\text{akrylamid}) + m(\text{BIS})}{m(\text{roztoku v okamžiku polymerace})} \quad \%C = \frac{m(\text{BIS})}{m(\text{akrylamid}) + m(\text{BIS})}$$

Western blotting

Western blot je analytická metoda sloužící k přenosu a imunochemické detekci proteinů z SDS-PAGE gelu. Proteiny z SDS-PAGE gelu jsou nejprve přeneseny pomocí elektrického pole na chemicky i mechanicky odolnější membránu (nitrocelulóza nebo polyvinylidendifluorid (PVDF)) (obrázek 3). Existují dva typy uspořádání western blotu a to „wet blotting“ (mokrý přenos) a „semi-dry blotting“ (polosuchý přenos), pomocí obou metod je dosahováno srovnatelných výsledků. Na membráně pak probíhá imunochemická detekce proteinů za pomoci primární a sekundární protilátky. Primární protilátka je specifická vůči cílovému proteinu (antigenu), neboť se váže na specifickou sekvenci aminokyselin v cílovém proteinu zvanou epitop, která se liší protein od proteinu. Sekundární protilátka je pak specifická proti imunoglobulinům zvířete, které vytvořilo primární protilátku, vytváří tedy komplex s primární protilátkou v místě jejího komplexu s antigenem. Sekundární protilátka navíc nese detekční systém (obvykle enzym – alkalická fosfatasa, peroxidasa), který rozkládá substrát, který po rozložení produkuje chemiluminiscenci (svítí) nebo viditelné zbarvení v místě komplexu antigen-primární protilátka-sekundární protilátka. Díky vysoké specifitě interakce antigen-protilátka a vysoké citlivosti detekce je možné identifikovat jeden konkrétní protein ze směsi obsahující až stovky proteinů.

V rámci cvičení budeme detekovat biotinem značený protein kryptogein o hmotnosti 10kDa pomocí streptavidinu značeného křenovou peroxidasou (nahrazující primární protilátku).



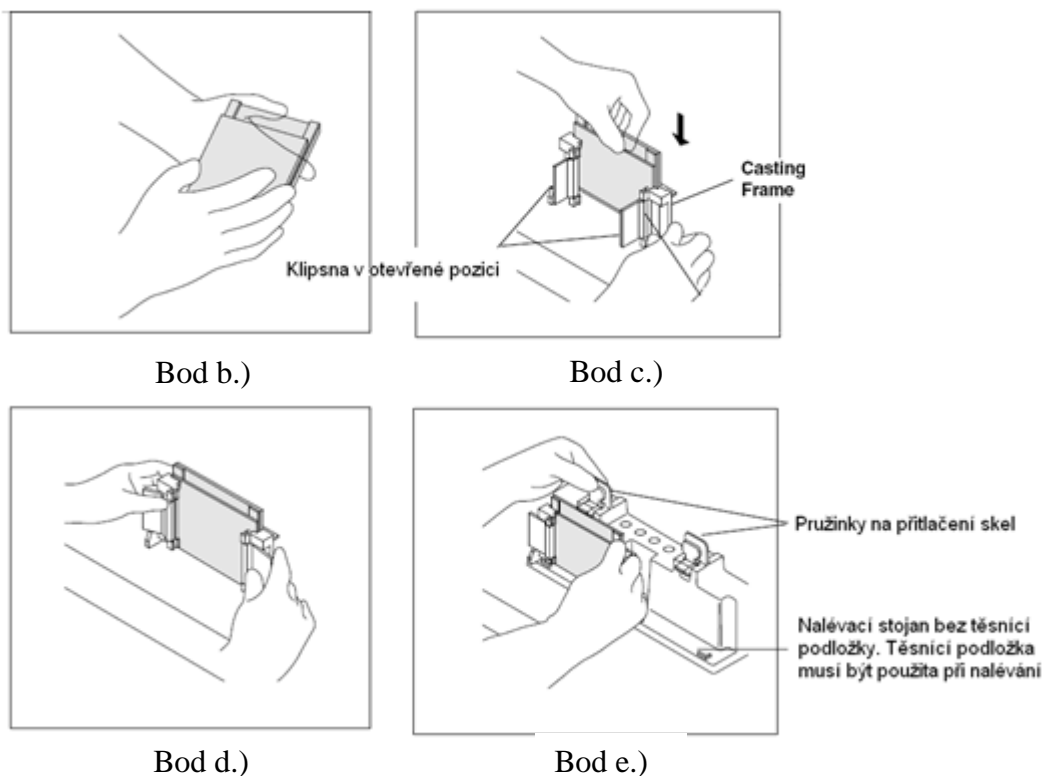
Obr. 3. Princip přenosu proteinů pomocí western blottingu

PRAKTICKÁ ČÁST

Příprava SDS-PAGE gelu

Složení sendvičové kazety pro nalití gelu (viz obr. 4)

- Umístěte rámečky a nalévací stojan na rovnou podložku.
- Vezměte delší skla se spacersy o tloušťce 1.0 mm a umístěte na ně kratší skla.
- Umístěte skla do nalévacího rámečku tak, že popis na delším skle je orientován nahoru.
- Zaklapněte skla oběma klipsnými zároveň.
- Umístěte nalévací rámeček se skly na nalévací stojan (nezapomeňte umístit na stojan těsnicí podložku) a přitlačte je pomocí pružinky.



Obr. 4. Sestavení nalévacího stojanu pro SDS-PAGE

Nalévání separačního gelu

- Do eppendorfky si připravte 1 ml 10% roztoku persíranu amonného (APS) rozpuštěním 0,1 g APS v 0,9 ml dd H₂O. Na základě tabulky 2 namíchejte směs pro 10 % separační gel do kádinky a promíchejte. Jako poslední přidávejte persíran amonný a TEMED (N,N,N',N'-tetramethyl-ethan-1,2-diamin), které slouží jako iniciátor a katalyzátor polymerace. Opět promíchejte. **Pracujte v digestoři – směs monomerů má neurotoxické a potenciálně karcinogenní účinky, polymer je však již zdraví neškodný.**
- Pomocí 5 ml pipety nalijte připravený gel mezi připravená skla tak, aby od okraje kratšího skla zůstala mezera cca 1 cm.
- Převrstvěte opatrně nalitý gel tenkou vrstvou vody.
- Po 20 minutách vyndejte nalévací rámeček se skly z nalévacího stojanu a pomocí filtračního papíru odsajte vodu na povrchu polymerovaného gelu.
- Vraťte nalévací rámeček se skly do nalévacího stojanu.

Nalévání koncentračního gelu

- Na základě tabulky 2 namíchejte směs pro 5 % koncentrační gel do kádinky. Jako poslední opět přidávejte persíran amonný a TEMED a opět promíchejte. **Pracujte v digestoři – směs monomerů má neurotoxické a potenciálně karcinogenní účinky, polymer je však již zdraví neškodný.**
- Pomocí 5 ml pipety nalijte připravený gel mezi připravená skla na již ztuhlý separační gel tak, aby koncentrační gel byl nalit až po okraj kratšího skla.
- Poté opatrně zasuňte mezi skla hřebínek o tloušťce 1.0 mm.
- Po 20 minutách vyndejte nalévací rámeček se skly z nalévacího stojanu, vyndejte opatrně hřebínek a vzniklé jamky propláchněte deionizovanou vodou.

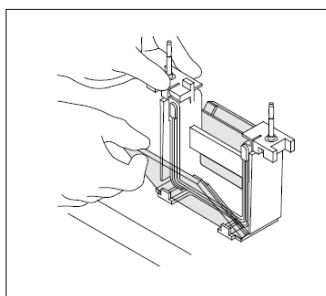
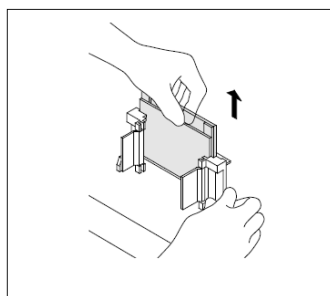
Tabulka 2. Složení směsi pro nalévání gelu

(2.) 5% (T) koncentrační gel		(1.) 10% (T) separační gel	
Látka/roztok	Objem [ml]	Látka/roztok	Objem [ml]
30 % (akrylamid + BIS 37,5:1)	0,850	30 % (akrylamid + BIS 37,5:1)	3,350
1 M Tris (pH 6.8)	0,625	1.5 M Tris (pH 8.8)	2,500
10 % persíran amonný	0,050	10 % persíran amonný	0,100
10 % SDS	0,050	10 % SDS	0,100
TEMED	0,005	TEMED	0,004
H ₂ O	3,400	H ₂ O	3,950
Celkový objem	5,000	Celkový objem	10,000

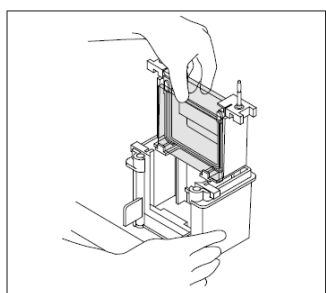
Sestavení aparatury pro SDS-PAGE

- Vyjměte skla z nalévacího rámečku a umístěte každé sklo do drážek v elektrodevém držáku. Skla musí být umístěna tak, že kratší skla jsou orientována dovnitř směrem k sobě, čímž vytváří vaničku pro nalití pufry (obr. 5)
- Takto připravený elektrodevý držák se skly zasuňte do upínacího rámečku.
- Gely přitlačte na zelené těsnění pomocí klipsen.

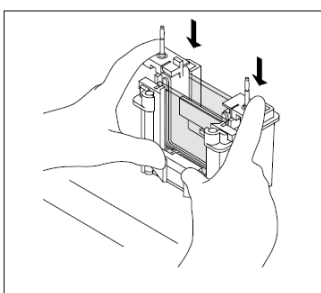
- d. Upínací rámeček poté vložte do elektrodové vany.
- e. Do komůrky mezi skly (katodový prostor) v elektrodovém držáku nalijte elektrodový pufr (až po okraj, cca. 125 ml). Do elektrodové vany (anodový prostor) nalijte potom asi 200 ml elektrodového pufru.



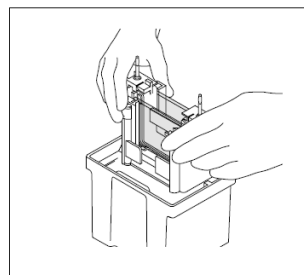
Bod a.)



Bod c.)



Bod c.)

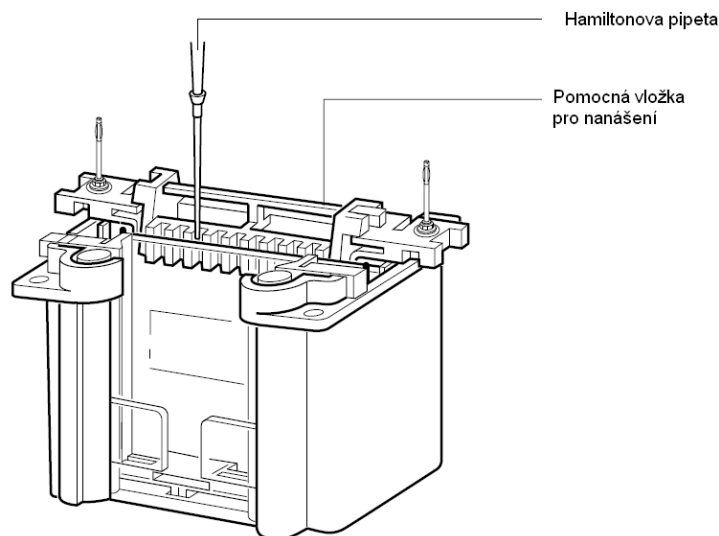


Bod d.)

Obr. 5. Sestavení sendviče pro SDS-PAGE

Nanesení vzorku

- a. Před nanesením umístěte vzorek a směsi standardních proteinů o známé molekulové hmotnosti (standards) na 5 minut do termobloku vyhřátého na 95°C.
- b. Poté vzorek a standard zchlaďte na ledu.
- c. Do horní vaničky si vložte pomocnou vložku pro nanášení vzorku.
- d. Do jednotlivých jamek nanášejte pomocí Hamiltonovy pipety vzorky a standardy podle rozpisu. Obvykle se nanáší 20-30 µg celkového proteinu na jamku.



Obr. 6. Nanesení vzorku do jamek v SDS-PAGE gelu

Vlastní elektroforéza

Elektroforetickou aparaturu uzavřete víkem a připojte ji ke zdroji stejnosměrného napětí. Na zdroji nastavte konstantní proud 30 mA/gel a po zapnutí ponechte elektroforézu probíhat tak dlouho, až zóna bromfenolové modři doputuje ke spodnímu okraji gelu.

Ukončení elektroforézy

Vypněte zdroj, otevřete elektroforetickou aparaturu, vyjměte z ní vnitřní elektrodový prostor a slijte elektrodový pufr. Uvolněte z vnitřního elektrodového prostoru držák s gelem a opatrným zapáčením od sebe uvolněte skla. Z gelu odstraňte koncentrační část a zbytek přeneste do 7% kyseliny octové (viz bod „a“ dále).

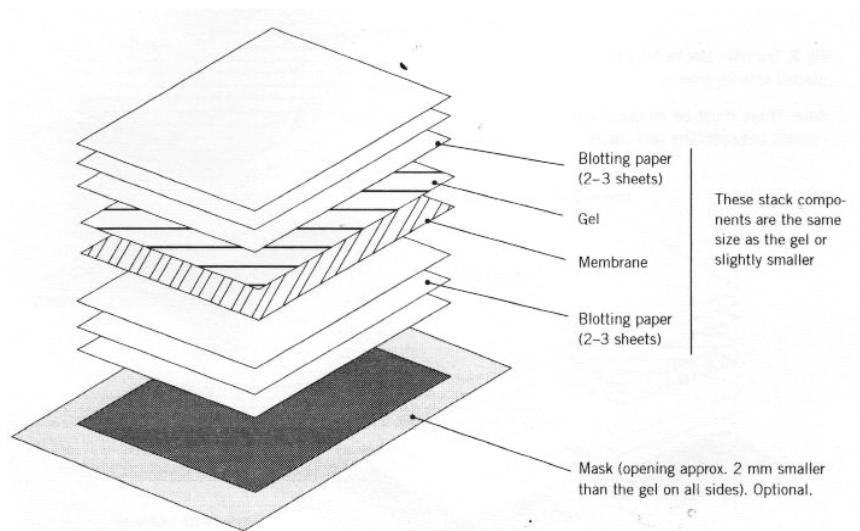
Protokol pro barvení SDS-PAGE gelů stříbrem

Provádějte na třepačce na rychlost „pomalou“, vyvíjení a zastavování vyvíjení na rychlost „rychle“

- a. Ponořte gel na 7 minut do 100 ml 7% kyseliny octové
- b. Ponořte gel na 10 minut do 50% metanolu
- c. Znovu ponořte gel na 10 minut do 50% metanolu
- d. Připravte si roztok A: 0.8 g dusičnanu stříbrného + 4 ml deionizované vody
- e. Propláchněte gel po dobu 10 minut v 100 ml vody
- f. Propláchněte gel po dobu 10 minut v 100 ml vody
- g. 5 minut před posledním promytím připravte roztok B: 21 ml vody + 25 μ l 30 % NaOH + 1.4 ml 14.8 M hydroxidu amonného
- h. Připravte barvicí roztok: Roztok B umístěte na míchačku a za neustálého míchání přidejte po kapkách roztok A. poté přidejte 76 ml deionizované vody.
- i. Ponořte gel na 15 minut do barvicího roztoku.
- j. Propláchněte gel po dobu 5 minut v 100 ml vody
- k. Znovu propláchněte gel po dobu 5 minut v 100 ml vody
- l. Připravte vyvíjecí roztok: Smíchejte 200 ml deionizované vody s 1 ml 1% kyseliny citronové a 100 μ l 37% formaldehydu. Dále si připravte 200 ml 7% kyseliny octové.
- m. Ponořte gel do vyvíjecího roztoku a inkubujte ho, dokud nejsou viditelné proužky (obvykle 2-10 minut).
- n. Vyvíjení zastavte vypuštěním vyvíjecího roztoku, přidáním 200 ml 7% kyseliny octové a inkubací po dobu 10 min.

Sestavení aparatury pro western blotting

- a. Před složením sendviče (obr. 7) nejprve membránu ponořte do methanolu a poté ekvilibrujte v přenosovém pufru 5 minut.
- b. Namočte tři filtrační papíry do přenosového pufru a umístěte je na podložku.
- c. Rukavice smočte v přenosovém pufru, opatrně vezměte gel do rukou a přeneste jej na filtrační papíry.
- d. Předpřipravte si další 3 filtrační papíry v přenosovém pufru.
- e. Membránu opatrně uchopte pinzetou za růžek a umístěte ji na gel.
- f. Ihned zakryjte vrstvou filtračních papírů.
- g. Membrána musí směřovat k anodě (+).



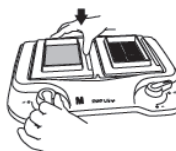
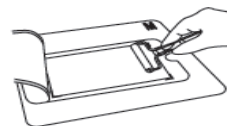
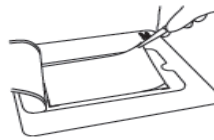
Obr. 7. Sestavení sendviče pro semi-dry blotting

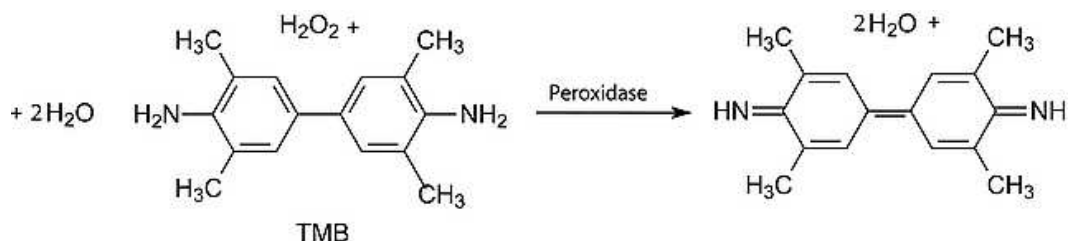
Vlastní přenos

Aparaturu připojte ke zdroji stejnosměrného napětí, nastavte konstantní napětí 30 V a nechte probíhat přenos po dobu 30 min.

Imunochemická detekce na membráně

- a. Blotovací složku uchopte za krycí stranu (modré okraje) a smočte membránovou stranu destilovanou vodou v namáčecí vaničce. **Nenamáčejte** krycí stranu. Poté přeneste namočenou složku na podložku.
- b. Je-li třeba, předmočte membránu v methanolu a vodě a umístěte ji do blotovací složky **proteínovou stranou dolů**.
- c. Jemně odstraňte vzduchové bubliny válečkem, uzavřete složku a znovu přejeďte válečkem.
- d. Otevřete kazetu, blot otočte proteínovou stranou nahoru a umístěte jej do kazety. Výřez ve složce usnadňuje správné umístění do kazety.
- e. Zavřete a uzamkněte kazetu. Přidejte 30 ml blokovacího pufru. Inkubujte 5 min. Přitlačte kazetu dolů a otevřete přívod vakua. Jakmile je vše roztok odsát, vypněte vakuum.
- f. Na povrch membrány aplikujte 5 ml roztoku streptavidinu značeného křenovou peroxidasou.
- g. Inkubujte 10 min při pokojové teplotě. Roztok se vsákne do membrány a povrch se může jevit suchý. Upozornění: Nezapínejte vakuum dříve než po 10 min inkubace.
- h. Přitlačte kazetu dolů a otevřete přívod vakua. Vyčkejte 5-8 s dokud nebude vše roztok odsátý.
- i. Při otevřeném přívodu vakua, přidávejte 30 ml promývacího pufru. Promývání opakujte ještě 3x (celkově 4 promytí). Vypněte přívod vakua.
- j. Vypněte přívod vakua. Vyjměte blot ze složky a inkubujte 2 minuty v 10 ml TMB předpřipraveného (3,3',5,5'-Tetramethylbenzidin) substrátu.





Složení pufrů pro SDS-PAGE

Nanášecí (denaturační a redukující) pufr

250 mM Tris/HCl pH 6.8

10 % SDS

30 % glycerol

5 % β-merkaptoethanol

bromfenolová modř

1,25 ml 1 M Tris/HCl pH 6,8

0,5 g SDS

1,5 ml glycerolu

250 μl β-merkaptoethanolu

přídavek zásobního roztoku do modrého zbarvení

doplnit ddH₂O do 5 ml a rozalíkvotovat

Elektroforetický pufr (10 x koncentrovaný)

TRIS (Tris(hydroxymethyl)aminomethan)

30,3 g

Glycin

144 g

SDS

10 g

Doplnit do 1 l vodou (pH se neupravuje, směs má pH= 8,8). Před použitím se desetkrát zředí deionizovanou vodou.

Složení pufrů pro western blotting

Přenosový pufr

Tris

3,0 g

Glycin

14,4g

Doplnit do 800 ml ddH₂O

Blokovací pufr

0,3% odtučněné sušené mléko v 1x TBS pufru

1x TBS promývací pufr

Tris

6,05 g

NaCl

8,76 g

Rozpusit v 800 ml ddH₂O. Pomocí 1 M HCl upravit pH na 7.5 a doplnit do 1 l ddH₂O.