



Projekt spolufinancovaný evropským sociálním fondem a státním rozpočtem ČR s názvem

## Modernizace výukových postupů a zvýšení praktických dovedností a návyků studentů oboru Biomedicínský technik

registrační číslo CZ.1.07/2.2.00/15.0415, č.j. 15/167/2010  
11.10.2010 - 28.2.2013

# Vybrané úlohy z experimentální biomechaniky

V biomedicínském inženýrství se setkáváme s vědním oborem nazvaným biomechanika. Definování vědního oboru biomechanika je však problematické. Důvodem je především rozdíl v chápání pojmu „biomechanika“ různými lidmi. Z toho vyplývá, že pojem „biomechanika“ bude chápat jinak lékař, jinak paleontolog a jinak softwarový vývojář pro 3D grafické aplikace, pokud se problematice věnují. Obecně platí definice, že jde o „nauku o struktuře a mechanickém chování živých organizmů“.

Biomechanika tedy kombinuje znalosti z funkční anatomie, fyziologie, mechaniky a dalších vědních oborů, pomocí kterých mapuje mechanickou strukturu mechanické chování a mechanické vlastnosti živých organismů, jejich částí, a mechanické interakce mezi nimi a okolím. Zjednodušeně tedy můžeme říci, že je náplní biomechaniky studium mechanických pohybů, jejich příčin a důsledků v biosystému jako celku a v jeho jednotlivých částech, přičemž tato konkrétní definice odpovídá definicím uváděným v anglosaské literatuře.

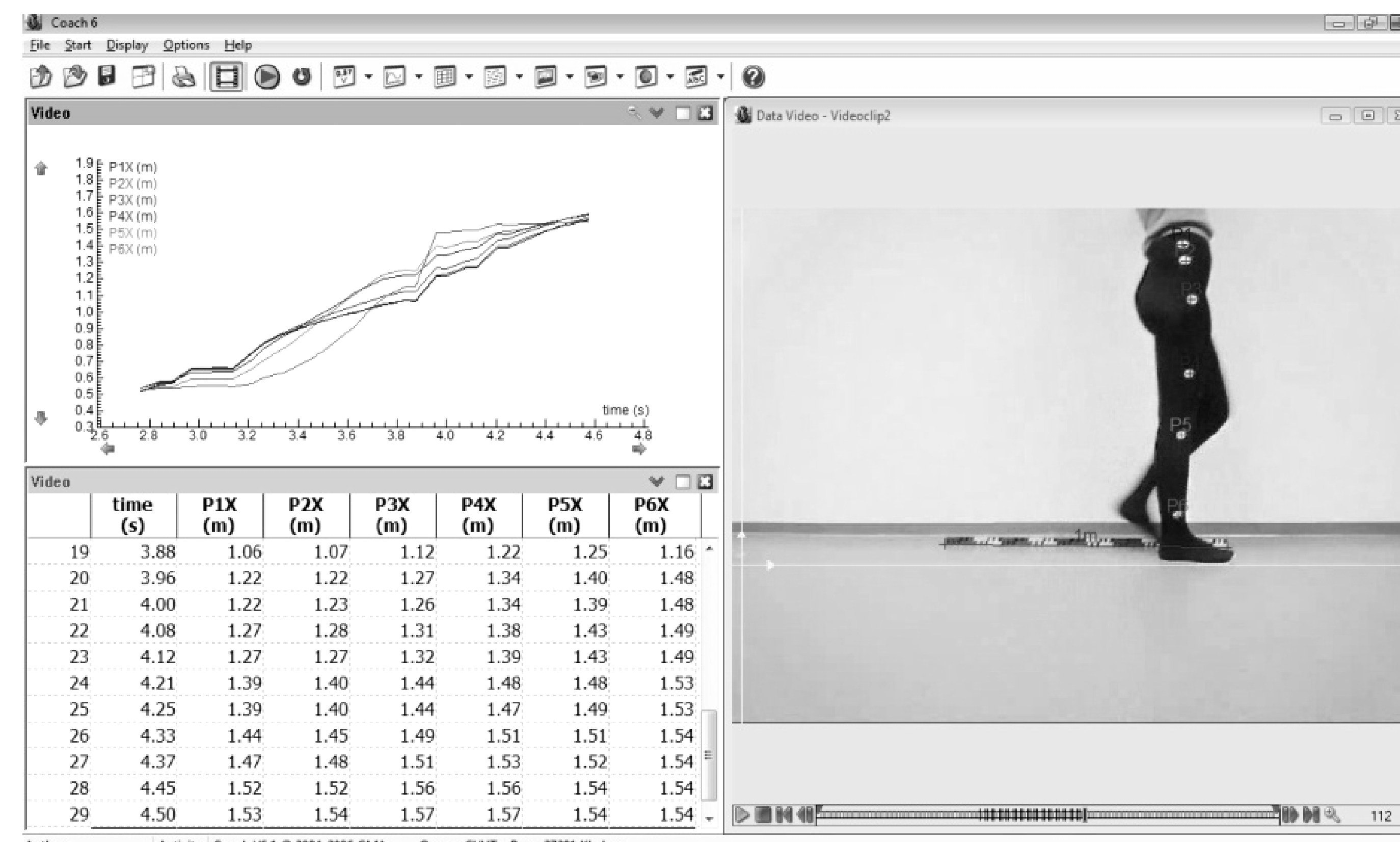
## Měření pohybu pomocí kamery

Kamerové systémy mohou být využity ke snímání pohybujících se objektů. Detekce objektu v obraze se provádí pomocí markerů umístěných na zvolených bodech objektu. Systémy se podle typu použitých markerů rozdělují na pasivní a aktivní. Aktivní markery jsou zdrojem záření, zatímco pasivní světlo pouze odráží a je tedy nezbytné použití externího zdroje světla. Pro jednoznačnou identifikaci jsou jednotlivé markery očíslovány. Všechny kamerové systémy pro sledování pohybu poskytují informaci o poloze vybraných objektů či bodů v prostoru vzhledem k souřadné soustavě definované polohou snímacího systému. Ze záznamu sledovacího systému jsou v určitých intervalech získávány pozice jednotlivých markerů.

Úloha měření a analýzy pohybu markerů se řeší buď jako rovinná (2D) nebo prostorová (3D). V případě prostorové úlohy je k určení pozice markerů nezbytné použití více kamer. Pro rovinnou úlohu je možné manuální odečítání souřadnic markerů ze záznamu. Pozice bodů na objektu jsou udávány v kartézské souřadné soustavě. Zjištění polohy těla jako celku či jednotlivých bodů na segmentech těla se využívá při rehabilitaci či studiu kinematiky a dynamiky pohybu (rychlost, zrychlení běžců atd.). Markery se umísťují na dané anatomické body těla a z důvodu hodnocení výsledků měření a jejich srovnávání se naměřená data normalizují pro konkrétní pohybovou aktivitu či charakteristiku sledovaného subjektu.

Pro snímání pohybujících se objektů mohou být použity běžné typy kamer (např. webkamery) či Motion Capture systémy (MoCap). V praxi se setkáváme s analýzou poloh všech segmentů těla, zejména s polohou končetin, a hodnocením držení trupu, hlavy, ramen a očí.

Vyšetřování pohybu v kloubu se provádí pomocí segmentů, které jsou daným kloubem spojeny. Může se tak určit maximální rozsah pohybu kloubu (změna úhlu). Ze záznamu pohybu lze rovněž určit úhlovou rychlost a zrychlení v kloubu.



Obr. 1: Záznam obrazu webkamerou a analýza chůze v Coach 6 MV Studiu

## Měření okamžité polohy očí, hlavy a těla v neurologii

Koordinace pohybů hlavy, ramen a očí, tedy interakce okulomotorického a cephalomotorického systému, je nezbytná například ke stabilizaci obrazu na sítnici při volném pohybu hlavy nebo při současném pohybu hlavy a očí za účelem změny pohledu. Pro měření a hodnocení polohy hlavy se určují hodnoty inklinace (úklon do strany), flexe či extenze (předozadní náklon) a rotace hlavy v prostoru. Poloha ramen se určuje inklinací a rotací v třídímním prostoru. V případě měření polohy hlavy se využívá anatomický souřadný systém (ASS), který je jednoznačně určen anatomickými znaky na segmentu těla. Anatomický systém os je definován anatomickou horizontálou při pohledu zepředu a z profilu. Vztahná horizontála je horizontála okolního prostoru, která je kolmá na vektor tíhového zrychlení Země a definuje zemský souřadný systém (ZSS). V případě měření polohy ramen se určuje anatomická osa ramen. Vyšetřování polohy hlavy rozšířené o informaci o poloze a pohybu očí slouží při studiu rovnovážného systému, závrativých stavů či dyslexie.

### Určování polohy očí

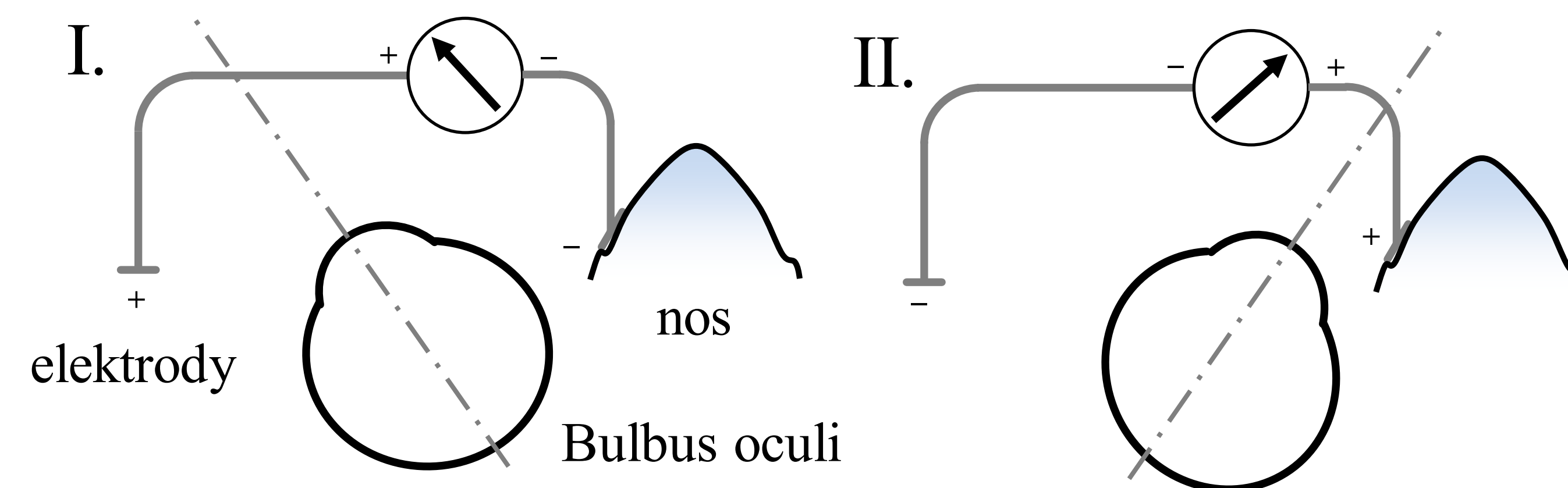
Měření očních pohybů se rozumí činnost, jejímž výsledkem je signál informující o poloze oka, který se mění v závislosti na jeho pohybech. Pohyby oka jsou realizovány okohybnými svaly.

**Magnetookulografie:** Metoda využívající feritového kroužku se dvěma navinutými cívkami, které jsou nejčastěji zapouzdřeny do kontaktní čočky. Pohybem oka se mění indukce snímací cívky.

**Elektrookulografie:** Metoda využívající potenciálové změny, jejíž podstatou je napěťový rozdíl mezi rohovkou a sítnicí. Pohyb oka způsobuje v jeho okolí malé změny elektromagnetického pole, které lze měřit. Oční pohyby se registrují elektrodami umístěnými na kůži v blízkosti očí. Záznam elektrické aktivity pohybu oka nazýváme elektrookulogram (EOG).

**Infračervená okulografie:** Metoda spočívající v ozáření oka pevným zdrojem infračerveného záření a následným měřením množství odraženého záření, které je závislé na poloze oka.

**Videookulografie:** Metoda využívající záznam pohybu oka kamerovými systémy. Poloha oka se nejčastěji určuje z polohy středu zornice. Využívá se výpočtových algoritmů zpracování a hodnocení obrazu.



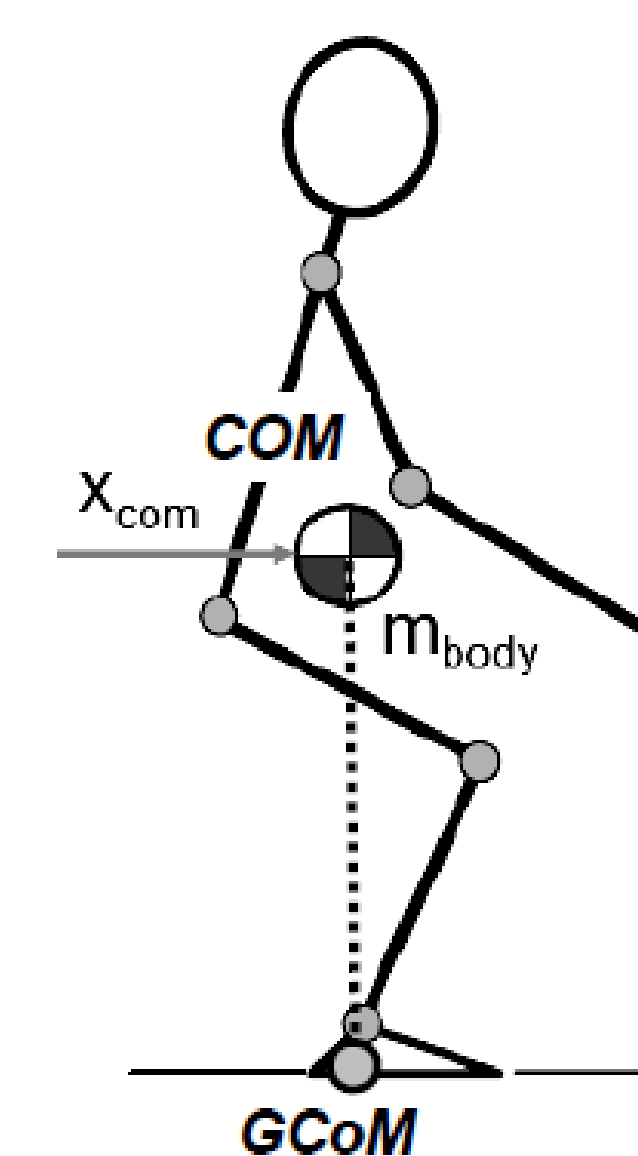
Obr. 2: Princip měření pohybu oka v elektrookulografii

## Určování polohy těžiště stabilometrickou plošinou

V praxi je využíváno metody analýzy a hodnocení reakčních sil pod chodidly. Nejčastěji se hodnotí poloha a působíště výsledných kontaktních sil pod chodidly při stoje či chůzi, například v rámci metody zvané posturografie. K měření se používají rovinné desky s tlakovými či siloměrnými čidly. V rámci měření se určuje poloha těžiště těla COM (Center of Mass), což je bod, kolem něhož je tělesná hmotnost rovnoměrně rozložena. Při posturografii se určuje poloha jeho průmětu do transverzální roviny a tento bod se označuje jako GCoM (Ground projection of the Centre of Mass). Poloha COM odpovídá poloze výsledné reakční síly, tj. kontaktní síly pod oběma chodidly na plošině. Stanovuje se také vážený průměr tlakových sil, tzv. centrum tlaku COP (Center of Pressure), což je střed rozložení tlaku. COP můžeme určit pro jednotlivé segmenty těla dotýkající se plošiny, např. chodidla. V případě, že pacient na plošině pouze stojí a nepohybuje se, bude poloha COP odpovídat kolmému průmětu těžiště COM do roviny desky (tj. bodu GCoM). Polohu těžiště celého těla (COM) můžeme zjistit z polohy těžišť jednotlivých segmentů těla. Metoda zjišťování COP a COM se používá ke kvantifikaci poruch rovnováhy a následně například k určení stavu vestibulárních reflexů.

Vyšetření se nejčastěji provádí na statické nebo pohyblivé balanční (také tzv. stabilometrické či posturografické) plošině. Plošiny určují polohu výsledné kontaktní síly pomocí několika siloměrných snímačů umístěných ve vhodných místech pod tuhou plošinou (deskou), na které stojí nebo se pohybuje pacient. Typická konstrukce balanční plošiny je složena z rovné desky, která je podložena snímači (minimálně po jednom snímači v každém rohu plošiny). Plošina umožňuje změřit rozložení váhy resp. tíhy na snímače, spočítat celkovou váhu a také určit polohu průmětu těžiště těla pacienta stojícího na plošině do transverzální roviny. Na deskách bývají vyznačena místa pro pravou a levou nohu. Pro výpočet GCoM jsou důležité vzdálenosti jednotlivých senzorů plošiny. Ke studiu trajektorie pohybu COP (a popř. GCoM) v transverzální rovině se také používají tzv. tlakové plošiny. Tyto plošiny obvykle sledují a zaznamenávají průběh tlaku pod chodidly v závislosti na čase. Z rozložení tlaku pod chodidly umožňují určit pohyby COP. Tlakové plošiny se vyrábějí ve tvaru desek, koberečů či vložek do bot. K měření jsou používány tlakové plošiny s vysokou hustotou tlakových senzorů.

V rámci rehabilitace se během vyšetřování často přesouvá COP do různých míst či naopak udržuje v požadované poloze. Následně se analyzuje a hodnotí stabilita stoje.



Obr. 3: Schéma určení polohy těžiště člověka



Obr. 4: Stabilometrická plošina firmy Nintendo

### Použitá literatura

[1] P. Kutílek, A. Žižka: Vybrané kapitoly z experimentální biomechaniky, studijní materiál, ČVUT, 2012, Praha, ISBN 978-80-01-04993-8